



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
29.10.2014 Bulletin 2014/44

(51) Int Cl.:
H01Q 3/26^(2006.01) H01Q 3/40^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14165477.2**

(22) Date de dépôt: **22.04.2014**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Etats d'extension désignés:
BA ME

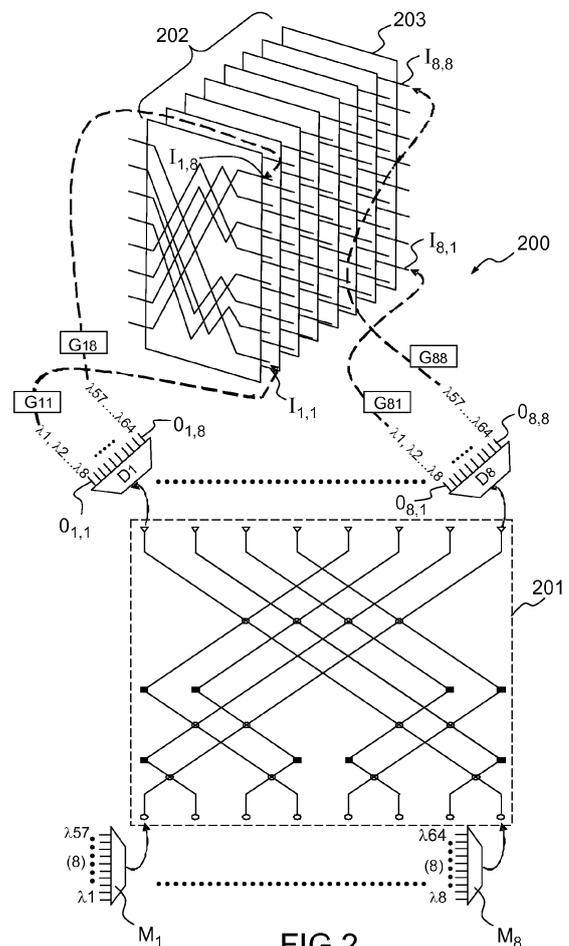
(72) Inventeurs:
 • **Caille, Gérard**
31170 TOURNEFEUILLE (FR)
 • **Sotom, Michel**
31037 TOULOUSE (FR)

(30) Priorité: **26.04.2013 FR 1300973**

(74) Mandataire: **Hammes, Pierre et al**
Marks & Clerk France
Immeuble Visium
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **Dispositif d'alimentation distribuée pour formation de faisceau d'antenne**

(57) Dispositif d'alimentation distribuée (200) pour la formation de faisceau d'antenne comprenant un premier circuit d'alimentation distribuée (201) comprenant P entrées et N sorties, adapté pour produire un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, au moins un multiplexeur fréquentiel (M1,...M8) connecté à au moins une entrée dudit premier circuit (201), un nombre N de démultiplexeurs fréquentiels (D1,...D8,...D16) connectés chacun, par leur entrée, à une sortie dudit premier circuit (201) et un second moyen d'alimentation distribuée (202) comprenant une pluralité d'entrées, chacune connectée à une sortie d'un desdits démultiplexeurs fréquentiels (D1,...D8, ...,D16), et une pluralité de sorties, ledit second moyen d'alimentation distribuée (202) comprenant au moins un second circuit d'alimentation distribuée (203) comprenant Q entrées et M sorties, adapté pour produire, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, les nombres entiers P, N, Q et M étant égaux ou distincts.



Description

[0001] L'invention concerne le domaine des réseaux de formation de faisceau d'antenne pour réseaux antennaires. Elle concerne plus précisément un dispositif d'alimentation distribuée pour un réseau de formation de faisceau.

[0002] Le domaine de l'invention est celui des réseaux antennaires, notamment pour antennes satellites. Les réseaux d'antenne satellite ont la capacité de générer plusieurs faisceaux d'antenne dans différentes directions d'observation. De telles antennes multi-faisceaux sont utilisées à bord d'un satellite pour des applications de télécommunications dans différentes bandes de fréquences, par exemple la bande Ka pour les applications multimédia, les bandes Ku ou C pour les liaisons de communication point à point ou encore les bandes L ou S pour les communications mobiles par satellite. Les réseaux d'antenne ont l'avantage de permettre une reconfiguration des différents faisceaux, notamment de leur nombre et de leur direction de pointage. En particulier, il existe un besoin pour concevoir des réseaux d'antenne multi-faisceaux bidimensionnels, c'est-à-dire qui sont aptes à générer des faisceaux selon deux dimensions dans l'espace afin de couvrir une zone d'éclairage importante.

[0003] Pour cela, une antenne multi-faisceaux nécessite d'être couplée à un réseau de formation de faisceaux chargé du routage du signal d'alimentation approprié vers les différents éléments antennaires du réseau d'antenne en vue de configurer les faisceaux d'antennes générés par chacun desdits éléments.

[0004] Le domaine de l'invention est donc également celui des réseaux de formation de faisceau d'antenne. Un sous-domaine concerne les réseaux de formation de faisceau matriciels. Un exemple de tels réseaux concerne ceux connus sous le nom de matrices de Butler. Une matrice de Butler est un dispositif passif hyperfréquences composé de coupleurs hybrides et de déphaseurs. Un tel dispositif est connu du domaine des réseaux antennaires et est notamment décrit dans la publication « Jesse Butler, Ralph Lowe, Beam-Forming Matrix Simplified Design of Electronically Scanned Antennas, Electronic Design, volume 9, pp. 170-173, April 12, 1961 ». Il permet d'obtenir, pour un signal hyperfréquences produit sur une de ses entrées, une distribution équi-amplitude de ce signal sur l'ensemble des sorties, avec un incrément de phase régulier entre chaque sorties consécutives.

[0005] Lorsqu'on connecte les ports de sortie d'une matrice de Butler aux éléments rayonnants d'un réseau antennaire, le signal hyperfréquence injecté sur chaque entrée de la matrice est rayonné par le réseau antennaire dans une direction et selon un faisceau d'antenne directif prédéterminés. Tous les faisceaux d'antenne ainsi générés via les différents éléments rayonnants sont régulièrement espacés et orthogonaux. La propriété d'orthogonalité des faisceaux est importante pour obtenir une bonne isolation des différentes voies entre elles.

[0006] Un avantage de la matrice de Butler est qu'elle nécessite un nombre minimum de coupleurs, de l'ordre de $N \cdot (\log_2 N) / 2$ au lieu de $2N(N-1)$, pour un réseau de formation de faisceau classique, avec N le nombre de sorties de la matrice égale au nombre de faisceaux d'antennes à générer.

[0007] D'autres dispositifs adaptés à la formation de faisceau sont connus de l'Homme du métier, comme par exemple les matrices de Blass, les lentilles de Rotman, ou les formateurs de faisceau de type 'Pillbox'.

[0008] Les matrices de Butler, ainsi que les dispositifs d'alimentation distribuée équivalents, sont généralement employées pour des signaux hyperfréquences ou plus généralement des signaux électriques dans la gamme des fréquences micro-ondes. La technologie classiquement utilisée pour réaliser un tel dispositif est la technologie guide d'onde qui présente l'inconvénient d'un encombrement important. En effet, pour des applications embarquées, un problème à résoudre concerne la miniaturisation de tels dispositifs car la compacité d'un dispositif antennaire est un avantage important surtout lorsque le nombre d'éléments antennaires, et donc indirectement le nombre de sorties de la matrice de Butler, augmente.

[0009] En outre, pour un nombre d'éléments antennaires ou de faisceaux à générer important, typiquement supérieur à une centaine, la mise en oeuvre d'une matrice de Butler devient très complexe car plus le nombre d'entrées et de sorties augmente, plus le nombre de composants et leur agencement devient un frein à la réalisation matérielle car la précision requise notamment dans les déphasages entre les sorties de la matrice se heurte aux limites de la technologie. Pour cette raison, lorsque le nombre d'entrées/sorties d'une matrice de Butler dépasse 8, il est nécessaire d'utiliser plusieurs matrices connectées entre elles au sein d'un arrangement particulier ce qui augmente encore l'encombrement du dispositif complet.

[0010] La figure 1 représente un exemple de dispositif d'alimentation distribuée pour la formation de faisceau d'antenne selon l'art antérieur. Le dispositif selon la figure 1 est apte à générer 64 signaux différents pour alimenter un réseau antennaire comprenant 64 éléments antennaires disposés, par exemple, selon un arrangement matriciel dans un plan.

[0011] Le dispositif 100 selon la figure 1 comprend un premier ensemble de huit circuits d'alimentation distribuée 101,...,108 arrangés parallèlement dans un premier plan, par exemple un plan vertical et un second ensemble de huit circuits d'alimentation distribuée 111,...,118 arrangés parallèlement dans un second plan, orthogonal au premier plan, par exemple un plan horizontal. Chaque sortie d'un circuit 101,...,108 du premier ensemble est connectée à une entrée d'un circuit 111,...,118 différent du second ensemble.

[0012] L'arrangement global des 16 circuits d'alimentation identiques permet d'obtenir un dispositif à 64 entrées I1,...,I8,...,I57,...,I64 et 64 sorties O1,...,O8,...,O57,...,O64. Les circuits utilisés sont par exemple des matrices de Butler.

L'agencement ainsi réalisé permet d'obtenir un dispositif équivalent à une matrice de Butler à 64 entrées et 64 sorties avec des déphasages commandables. Lorsqu'une des entrées du dispositif est activée, les signaux obtenus sur les sorties d'un même circuit d'alimentation 111,...118, présentent des déphasages avec un incrément constant entre deux sorties adjacentes et les signaux obtenus sur une rangée verticale constituée par une sortie de chacun des circuits d'alimentation 111,...118, du second ensemble présentent également des déphasages avec un incrément constant entre deux sorties adjacentes de la rangée.

[0013] La figure 1 bis représente un dispositif d'alimentation distribuée 110 du même type que celui de la figure 1 dans lequel les circuits d'alimentation utilisés sont des lentilles de Rotman. Ce circuits présentent la particularité de ne pas être limités à un nombre d'entrées et de sorties égaux entre eux.

[0014] Le dispositif 110 de la figure 1 bis comprend un premier ensemble 111 de six circuits LR1 du type lentille de Rotman comprenant chacun 8 entrées I₁,...I₈ et 16 sorties.

[0015] Le dispositif 110 comprend en outre un second ensemble 112 de 16 circuits LR2 du type lentille de Rotman comprenant chacun six entrées et douze sorties.

[0016] Le premier et le second ensemble sont agencés de sorte que les sorties des circuits du premier ensemble sont connectées aux entrées des circuits du second ensemble.

[0017] De cette façon, le dispositif 110 permet d'alimenter un réseau antennaire comprenant $12 \times 16 = 192$ éléments rayonnants.

[0018] Un inconvénient des dispositifs selon les figures 1 et 1 bis est leur encombrement et le nombre de composants nécessaires à leur réalisation. En effet, ils nécessitent un nombre important de circuits de base (16 pour le cas de la figure 1, 22 pour le cas de la figure 2) chacun étant constitué d'une pluralité de coupleurs hybrides et de déphaseurs.

[0019] Un problème à résoudre consiste à diminuer l'encombrement et le nombre de composants nécessaires pour réaliser un dispositif d'alimentation distribuée pour formation de faisceaux comportant un nombre d'entrées et de sorties supérieur à 8, par exemple égal à 64.

[0020] L'invention propose un dispositif d'alimentation distribuée pour formation de faisceaux d'antenne dont l'encombrement est sensiblement diminué par rapport à la solution de l'art antérieur décrite à la figure 1.

[0021] Dans son meilleur mode de réalisation, l'invention ne nécessite que l'emploi de deux circuits d'alimentation distribuée connectés pour générer 64 faisceaux au lieu de 16 circuits comme dans l'exemple de la figure 1.

[0022] L'invention a pour objet un dispositif d'alimentation distribuée pour la formation de faisceau d'antenne caractérisé en ce qu'il comprend un premier circuit d'alimentation distribuée comprenant P entrées et N sorties, P et N étant deux nombres entiers strictement positifs, adapté pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de ses entrées, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, au moins un multiplexeur fréquentiel connecté à au moins une entrée dudit premier circuit, un nombre, égal au nombre N de sorties dudit premier circuit, de démultiplexeurs fréquentiels connectés chacun, par leur entrée, à une sortie dudit premier circuit et un second moyen d'alimentation distribuée comprenant une pluralité d'entrées, chacune connectée à une sortie d'un desdits démultiplexeurs fréquentiels, et une pluralité de sorties, ledit second moyen d'alimentation distribuée comprenant au moins un second circuit d'alimentation distribuée comprenant Q entrées et M sorties, Q et M étant deux nombres entiers strictement positifs, adapté pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de ses entrées, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, les nombres entiers P,N,Q et M étant égaux ou distincts.

[0023] Selon un aspect particulier de l'invention, un multiplexeur fréquentiel est apte à multiplexer une pluralité de signaux sur porteuses optiques distinctes.

[0024] Selon un aspect particulier de l'invention, un démultiplexeur fréquentiel est configuré pour démultiplexer une pluralité de porteuses optiques en au moins un groupe de porteuses comprenant une seule des porteuses optiques produites sur chaque entrée dudit premier circuit d'alimentation.

[0025] Selon un aspect particulier de l'invention, le second moyen d'alimentation distribuée comprend un nombre d'entrées égal à Q multiplié par N et un nombre de sorties égal à M multiplié par N, chacune de ses entrées étant connectée à une sortie distincte d'un démultiplexeur fréquentiel.

[0026] Selon un aspect particulier de l'invention, ledit second moyen d'alimentation distribuée comprend un nombre égal à N de seconds circuits d'alimentation distribuée à Q entrées et M sorties, adaptés pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de leurs entrées, un signal sur chacune de leurs sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, chacun desdits seconds circuits d'alimentation étant connecté, par ses Q entrées, à Q sorties d'un même démultiplexeur fréquentiel.

[0027] Selon un aspect particulier de l'invention, ledit second moyen d'alimentation distribuée comprend un nombre égal à N/2 de seconds circuits d'alimentation distribuée à Q entrées et M sorties adaptés pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de leurs entrées, un signal sur chacune de leurs sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, ledit second moyen d'alimentation comprenant en outre au moins un élément combineur de polarisation connecté, par sa sortie, à une entrée d'un desdits seconds circuits d'alimentation distribuée et étant apte à combiner un premier signal délivré par une sortie d'un premier démultiplexeur fréquentiel à une première

polarisation et un second signal délivré par une sortie d'un second démultiplexeur fréquentiel à une seconde polarisation, différente de la première polarisation, ledit second moyen d'alimentation comprenant en outre au moins un élément séparateur de polarisation connecté, par son entrée, à une sortie d'un desdits seconds circuits d'alimentation distribuée et étant apte à séparer un premier signal à une première polarisation d'un second signal à une seconde polarisation, différente de la première polarisation.

[0028] Selon un aspect particulier de l'invention, la seconde polarisation est orthogonale à la première polarisation.

[0029] Selon un aspect particulier de l'invention, la première polarisation est horizontale et la seconde polarisation est verticale.

[0030] Selon un aspect particulier de l'invention, ledit second moyen d'alimentation distribuée comprend un seul circuit d'alimentation distribuée à Q entrées et M sorties adapté pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de ses entrées, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, un moyen pour translater en fréquence les signaux optiques délivrés par chaque démultiplexeur fréquentiel de sorte qu'ils occupent des bandes de fréquences différentes, au moins un second multiplexeur fréquentiel pour multiplexer ensemble les signaux, délivré par chacun desdits démultiplexeurs fréquentsiels, émis sur les mêmes porteuses optiques, et au moins un second démultiplexeur fréquentiel, connecté à une sortie dudit seul circuit d'alimentation, pour démultiplexer les signaux translatés en fréquence.

[0031] Selon un aspect particulier de l'invention, lesdites bandes de fréquences sont adjacentes.

[0032] Selon un aspect particulier de l'invention, ledit second moyen d'alimentation distribuée comprend en outre un moyen pour modifier la polarisation des signaux délivrés par un premier démultiplexeur fréquentiel de sorte que les signaux délivrés par deux premiers démultiplexeurs distincts sont polarisés différemment et un moyen pour modifier la polarisation des signaux délivrés en sortie dudit circuit d'alimentation distribuée de sorte qu'ils aient tous la même polarisation.

[0033] Selon un aspect particulier de l'invention, la fonction de transfert théorique desdits premier et second circuits d'alimentation distribuée est une matrice orthogonale ou unitaire.

[0034] Selon un mode particulier de réalisation de l'invention, le dispositif d'alimentation distribuée comporte en outre un second circuit d'alimentation distribuée apparié au premier circuit d'alimentation distribuée et configuré en polarisation différente de celle dudit premier circuit d'alimentation distribuée.

[0035] Selon un aspect particulier de l'invention, lesdits premier et second circuits d'alimentation distribuée sont du type matrices de Blass ou lentilles de Rotman ou dispositifs « Pillbox ».

[0036] Selon un aspect particulier de l'invention, le nombre d'entrées P et de sorties N du premier circuit d'alimentation distribuée sont égaux entre eux et au nombre d'entrées Q et de sorties M d'un second circuit d'alimentation distribuée du second moyen d'alimentation distribuée.

[0037] Selon un aspect particulier de l'invention, lesdits premier et second circuits d'alimentation distribuée sont du type matrice de Butler.

[0038] Selon un aspect particulier de l'invention, lesdits premier et second circuits d'alimentation distribuée sont des circuits intégrés optiques.

[0039] Selon un aspect particulier de l'invention, ledit premier circuit d'alimentation distribuée est disposé dans un plan sensiblement orthogonal au plan dudit second circuit d'alimentation distribuée.

[0040] L'invention a également pour objet un réseau de formation de faisceau d'antenne comprenant un dispositif d'alimentation distribuée selon l'invention pour alimenter au moins un élément antenne d'un réseau d'antenne.

[0041] Selon un aspect particulier du réseau de formation de faisceau d'antenne selon l'invention, ce dernier comprend des premier moyens pour moduler au moins un signal électrique à une fréquence micro-ondes sur une porteuse optique et l'injecter sur au moins une entrée dudit dispositif d'alimentation distribuée et des second moyens pour recevoir au moins un signal produit sur au moins une des sorties dudit dispositif d'alimentation distribuée et le convertir en un signal électrique destiné à alimenter au moins un élément antenne d'un réseau d'antenne.

[0042] Selon un aspect particulier du réseau de formation de faisceau d'antenne selon l'invention, les porteuses optiques destinées à être injectées en entrée dudit dispositif d'alimentation distribuée sont regroupées, chaque groupe de porteuses étant injecté sur les entrées d'un multiplexeur distinct, un groupe comprenant une pluralité de porteuses adjacentes ou une pluralité de porteuses équiréparties dans la bande totale occupée par l'ensemble des porteuses.

[0043] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit en relation aux dessins annexés qui représentent :

- La figure 1, un schéma d'un premier dispositif d'alimentation distribuée selon l'art antérieur comprenant 16 circuits unitaires de type matrices de Butler,
- La figure 1 bis, un schéma d'un second dispositif d'alimentation distribuée selon l'art antérieur comprenant 22 circuits unitaires de type lentille de Rotman,
- La figure 2, un schéma d'une première variante de réalisation d'un dispositif d'alimentation distribuée selon l'invention,

- La figure 3, un schéma identique à celui de la figure 2 avec une variante d'arrangement des porteuses optiques en entrée,
- La figure 3bis, un schéma illustrant le fonctionnement d'un multiplexeur entrelaceur de longueurs d'ondes employé dans le dispositif de la figure 3,
- 5 - La figure 4, un schéma d'une deuxième variante de réalisation d'un dispositif d'alimentation distribuée selon l'invention,
- La figure 5, un schéma d'une troisième variante de réalisation d'un dispositif d'alimentation distribuée selon l'invention,
- 10 - Les figures 6a et 6b deux diagrammes illustrant deux variantes de réalisation de la modulation d'un signal électrique sur porteuse optique,
- La figure 7, un schéma d'un réseau de formation de faisceau selon l'invention,
- La figure 7bis, un schéma d'une seconde variante de réalisation d'un réseau de formation de faisceau selon l'invention,
- 15 - La figure 8, un schéma d'une sous-variante de la première variante de réalisation d'un dispositif d'alimentation distribuée selon l'invention tel que décrit à la figure 2.

[0044] La figure 2 représente un schéma d'un exemple de dispositif d'alimentation distribuée selon un premier mode de réalisation de l'invention.

20 **[0045]** Sur l'exemple de la figure 2, le dispositif selon l'invention comporte 64 entrées et 64 sorties et est adapté pour la formation de 64 faisceaux d'antenne distincts. Il diffère du dispositif de l'art antérieur présenté à la figure 1 en ce que le premier ensemble de huit circuits d'alimentation distribuée est remplacé par un premier circuit d'alimentation distribuée 201 unique, à huit entrées et huit sorties, associé à huit multiplexeurs fréquentiels M1,...M8 et 8 démultiplexeurs fréquentiels D1,...D8.

25 **[0046]** Un multiplexeur fréquentiel M1,...M8 comporte huit entrées distinctes pour recevoir huit signaux transmis sur huit porteuses fréquentielles distinctes et une sortie, connectée à une entrée du premier circuit d'alimentation distribuée 201. Sa fonction consiste à multiplexer une pluralité de signaux sur porteuses distinctes en un signal unique multi-porteuses.

30 **[0047]** Un démultiplexeur fréquentiel D1,...D8 comporte une entrée, connectée à une sortie du premier circuit d'alimentation distribuée 201, et huit sorties pour délivrer huit signaux sur porteuses distinctes, à partir du signal d'entrée multi-porteuses.

[0048] Chaque sortie $O_{1,1}$, $O_{1,8}$, $O_{8,1}$, $O_{8,8}$ d'un démultiplexeur fréquentiel est connectée à une entrée distincte $I_{1,1}$, $I_{1,8}$, $I_{8,1}$, $I_{8,8}$ d'un ensemble 202 de huit circuits d'alimentation distribuée 203 à huit entrées et huit sorties chacun.

[0049] Le dispositif selon l'invention présenté à la figure 2 comporte ainsi neuf circuits d'alimentation distribuée 201,203 comparativement aux 16 circuits nécessaires pour réaliser le dispositif selon l'art antérieur décrit à la figure 1.

35 **[0050]** Les neuf circuits 201,203 sont identiques et sont adaptés pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule entrée, un signal sur chacune des sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes. Par exemple, pour le cas d'un circuit à huit entrées et huit sorties, le déphasage obtenu en sortie est un multiple de $\pi/8$. En outre, la fonction de transfert théorique d'un tel circuit est une matrice orthogonale, c'est-à-dire qu'elle vérifie la relation, $\underline{VO}_i \cdot \underline{VO}_j^* - \underline{VO}_j \cdot \underline{VO}_i^* = 0$, où \underline{VO}_i et \underline{VO}_j sont les vecteurs colonnes (ici à 8 termes) composés des valeurs des amplitudes complexes des 8 signaux de sortie, et \underline{VO}^* désigne l'opérateur trans-conjugué de \underline{VO} , matrice ligne composée des nombres complexes conjugués des valeurs présentes dans \underline{VO} .

40 **[0051]** Un cas particulier important des matrices orthogonales est celles des formateurs de faisceau qui ne présentent théoriquement aucune perte (autre que les très faibles pertes en ligne, qui sont négligées dans les formulations mathématiques). Dans ce cas leur matrice de transfert T est unitaire, c'est-à-dire qu'elle vérifie la relation $T \cdot T^* = T^* \cdot T = Id$, avec Id la matrice identité et T^* la matrice transconjuguée encore appelée conjuguée hermitienne de la matrice T.

45 **[0052]** Un exemple de circuit d'alimentation distribuée est une matrice de Butler ou tout dispositif équivalent comportant N entrées et N sorties et adapté à la formation de faisceaux d'antenne multiples, orthogonaux entre eux et présentant ainsi des pertes réduites.

50 **[0053]** L'exemple décrit à la figure 2 peut être généralisé à tout dispositif à N^2 entrées et N^2 sorties, avec N un nombre entier égal à une puissance de deux. Dans ce cas général, le dispositif selon l'invention comporte N+1 circuits d'alimentation distribuée, N multiplexeurs fréquentiels à N entrées et une sortie et N démultiplexeurs fréquentiels à une entrée et N sorties.

[0054] Nous verrons plus loin dans la description que le dispositif de la figure 2 peut encore être élargi à tout dispositif comportant PxN entrées et QxM sorties, où P,N,Q et M sont des entiers strictement positifs.

55 **[0055]** Afin de limiter l'encombrement d'un dispositif d'alimentation distribuée selon l'invention, en particulier lorsque le nombre d'entrées/sorties est significativement élevé, un tel dispositif peut être réalisé en technologie PIC, pour « Photonic Integrated Circuit » en anglais ou Circuit Intégré Optique en français.

[0056] Dans ce cas, les signaux d'entrée du dispositif 200 sont des signaux optiques transmis sur 64 porteuses

EP 2 797 166 A1

distinctes identifiées par leurs longueurs d'onde respectives $\lambda_1, \dots, \lambda_8, \dots, \lambda_{57}, \dots, \lambda_{64}$.

[0057] Chaque démultiplexeur fréquentiel D1,...D8 est configuré pour démultiplexer les différentes porteuses optiques reçues en sortie du premier circuit d'alimentation 201 de sorte que, sur une sortie d'un démultiplexeur, n'est isolée qu'une seule des porteuses optiques produites à chaque entrée du premier circuit d'alimentation 201.

5 **[0058]** Le tableau suivant donne un exemple d'arrangement des porteuses optiques sur les différentes entrées des huit multiplexeurs M1,...M8.

10

| Multiplexeur | Porteuses Optiques |
|--------------|---|
| M1 | $\lambda_1, \lambda_9, \lambda_{17}, \lambda_{25}, \lambda_{33}, \lambda_{41}, \lambda_{49}, \lambda_{57}$ |
| M2 | $\lambda_2, \lambda_{10}, \lambda_{18}, \lambda_{26}, \lambda_{34}, \lambda_{42}, \lambda_{50}, \lambda_{58}$ |
| M3 | $\lambda_3, \lambda_{11}, \lambda_{19}, \lambda_{27}, \lambda_{35}, \lambda_{43}, \lambda_{51}, \lambda_{59}$ |
| M4 | $\lambda_4, \lambda_{12}, \lambda_{20}, \lambda_{28}, \lambda_{36}, \lambda_{44}, \lambda_{52}, \lambda_{60}$ |
| M5 | $\lambda_5, \lambda_{13}, \lambda_{21}, \lambda_{29}, \lambda_{37}, \lambda_{45}, \lambda_{53}, \lambda_{61}$ |
| M6 | $\lambda_6, \lambda_{14}, \lambda_{22}, \lambda_{30}, \lambda_{38}, \lambda_{46}, \lambda_{54}, \lambda_{62}$ |
| M7 | $\lambda_7, \lambda_{15}, \lambda_{23}, \lambda_{31}, \lambda_{39}, \lambda_{47}, \lambda_{55}, \lambda_{63}$ |
| M8 | $\lambda_8, \lambda_{16}, \lambda_{24}, \lambda_{32}, \lambda_{40}, \lambda_{48}, \lambda_{56}, \lambda_{64}$ |

15

20

[0059] En appliquant l'arrangement précité, le tableau suivant donne les indices des longueurs d'ondes des porteuses optiques reçues sur chaque sortie, indiquée de 1 à 8, de chaque démultiplexeur fréquentiel D1,...D8.

25

| Sortie d'un démultiplexeur D1,... D8 | Porteuses Optiques |
|--------------------------------------|--|
| 1 | $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ |
| 2 | $\lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}$ |
| 3 | $\lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}$ |
| 4 | $\lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}$ |
| 5 | $\lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}$ |
| 6 | $\lambda_{41}, \lambda_{42}, \lambda_{43}, \lambda_{44}, \lambda_{45}, \lambda_{46}, \lambda_{47}, \lambda_{48}$ |
| 7 | $\lambda_{49}, \lambda_{50}, \lambda_{51}, \lambda_{52}, \lambda_{53}, \lambda_{54}, \lambda_{55}, \lambda_{56}$ |
| 8 | $\lambda_{57}, \lambda_{58}, \lambda_{59}, \lambda_{60}, \lambda_{61}, \lambda_{62}, \lambda_{63}, \lambda_{64}$ |

30

35

40 **[0060]** La figure 3 illustre, pour le même dispositif 200 d'alimentation distribuée selon l'invention, un arrangement différent des porteuses optiques sur les 64 entrées des 8 multiplexeurs M1,...M8.

[0061] Cet arrangement est donné dans le tableau suivant.

45

| Multiplexeur | Porteuses Optiques |
|--------------|--|
| M1 | $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ |
| M2 | $\lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}$ |
| M3 | $\lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}$ |
| M4 | $\lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}$ |
| M5 | $\lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}$ |
| M6 | $\lambda_{41}, \lambda_{42}, \lambda_{43}, \lambda_{44}, \lambda_{45}, \lambda_{46}, \lambda_{47}, \lambda_{48}$ |
| M7 | $\lambda_{49}, \lambda_{50}, \lambda_{51}, \lambda_{52}, \lambda_{53}, \lambda_{54}, \lambda_{55}, \lambda_{56}$ |
| M8 | $\lambda_{57}, \lambda_{58}, \lambda_{59}, \lambda_{60}, \lambda_{61}, \lambda_{62}, \lambda_{63}, \lambda_{64}$ |

50

55

[0062] En appliquant l'arrangement précité, le tableau suivant donne les indices des longueurs d'ondes des porteuses

optiques reçues sur chaque sortie, indiquée de 1 à 8, de chaque démultiplexeur fréquentiel D1,...D8.

5
10
15

| Sortie d'un démultiplexeur D1,... D8 | Porteuses Optiques |
|--------------------------------------|---|
| 1 | $\lambda_1, \lambda_9, \lambda_{17}, \lambda_{25}, \lambda_{33}, \lambda_{41}, \lambda_{49}, \lambda_{57}$ |
| 2 | $\lambda_2, \lambda_{10}, \lambda_{18}, \lambda_{26}, \lambda_{34}, \lambda_{42}, \lambda_{50}, \lambda_{58}$ |
| 3 | $\lambda_3, \lambda_{11}, \lambda_{19}, \lambda_{27}, \lambda_{35}, \lambda_{43}, \lambda_{51}, \lambda_{59}$ |
| 4 | $\lambda_4, \lambda_{12}, \lambda_{20}, \lambda_{28}, \lambda_{36}, \lambda_{44}, \lambda_{52}, \lambda_{60}$ |
| 5 | $\lambda_5, \lambda_{13}, \lambda_{21}, \lambda_{29}, \lambda_{37}, \lambda_{45}, \lambda_{53}, \lambda_{61}$ |
| 6 | $\lambda_6, \lambda_{14}, \lambda_{22}, \lambda_{30}, \lambda_{38}, \lambda_{46}, \lambda_{54}, \lambda_{62}$ |
| 7 | $\lambda_7, \lambda_{15}, \lambda_{23}, \lambda_{31}, \lambda_{39}, \lambda_{47}, \lambda_{55}, \lambda_{63}$ |
| 8 | $\lambda_8, \lambda_{16}, \lambda_{24}, \lambda_{32}, \lambda_{40}, \lambda_{48}, \lambda_{56}, \lambda_{64}$ |

20
25

[0063] Le dispositif 200 selon l'invention permet de générer, sur ses 64 sorties, 64 signaux d'alimentation distincts avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes d'un circuit 203 d'alimentation distribuée du second ensemble 202 mais également avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties de même indice de deux circuits 203,204 adjacents du second ensemble 202. En alimentant un réseau antenne à 64 éléments, disposés par exemple selon un arrangement matriciel à 8 lignes et 8 colonnes, il est possible de générer 64 faisceaux d'antennes bidimensionnels dans des directions paramétrables par le déphasage imprimé sur les signaux de sortie du dispositif 200.

[0064] L'arrangement de porteuses optiques décrit à la figure 3 présente l'avantage de permettre l'utilisation d'un entrelaceur optique ou wavelenght interleaver en anglais pour réaliser les multiplexeurs fréquentiels M1,...M8. L'entrelacement périodique de porteuses optiques non adjacentes est en effet plus simple à mettre en oeuvre que le multiplexage de porteuses optiques adjacentes dans une bande de fréquences ou de longueurs d'onde réduite.

30
35

[0065] La figure 3bis illustre le principe de fonctionnement d'un entrelaceur optique de longueurs d'onde 301 pour le cas particulier de deux longueurs d'ondes. Le principe peut aisément être étendu à un entrelaceur optique à 8 entrées comme ceux employés dans le dispositif de la figure 3. Sur la gauche de la figure 3bis est représenté un diagramme du spectre en sortie d'un entrelaceur optique 301. Ce spectre comporte deux jeux de porteuses optiques 310,320 entrelacées. De même les démultiplexeurs fréquentiels D1,...D8 peuvent être mis en oeuvre en utilisant les mêmes entrelaceurs optiques utilisés en fonction inverse.

[0066] L'examen détaillé des tableaux qui précèdent montre que les deux arrangements proposés échangent entre multiplexeurs et démultiplexeurs ceux où des entrelaceurs périodiques peuvent être utilisés, et ceux où il faut multiplexer / démultiplexer des sous-bandes constituées de 8 porteuses adjacentes (avec leurs modulations).

[0067] D'autres choix sont possibles sur l'ordre d'affectation des longueurs d'onde optiques aux entrées des multiplexeurs M1 à M8, mais les deux solutions présentées dans les tableaux précédents se prêtent le plus facilement à une implantation concrète, soit sous la forme de dispositifs discrets, soit par conception intégrée sur circuit optique PIC.

40

[0068] La figure 4 représente un schéma d'une deuxième variante de réalisation du dispositif selon l'invention.

[0069] Selon cette deuxième variante, l'encombrement global du dispositif est encore amélioré en diminuant le nombre de circuits d'alimentation distribuée du second ensemble 202 de huit à quatre.

45

[0070] Pour cela, le dispositif 400 selon la deuxième variante de réalisation de l'invention comporte, pour chaque entrée d'un circuit d'alimentation 401, un élément combineur de polarisation PC_{1,1}, PC_{4,1}, PC_{4,8}, PC_{1,8} pour combiner deux signaux de polarisations différentes, par exemple deux polarisations orthogonales telles une polarisation horizontale et une polarisation verticale.

50

[0071] Chaque élément combineur de polarisation PC_{1,1}, PC_{4,1}, PC_{4,8}, PC_{1,8} est agencé pour combiner un premier signal délivré par une sortie d'un premier démultiplexeur fréquentiel D1 et un second signal délivré par une sortie d'un second démultiplexeur fréquentiel D2, par exemple adjacent au premier démultiplexeur D1. Les polarisations desdits premier et second signaux sont modifiées de sorte que le signal de sortie dudit combineur de polarisation est composé de la combinaison du premier signal à une première polarisation et du second signal à une seconde polarisation, orthogonale à la première. De cette façon, on diminue par deux le nombre de circuits d'alimentation distribuée 401 nécessaires.

55

[0072] Le dispositif 400 selon la deuxième variante de réalisation de l'invention comporte en outre, pour chaque sortie d'un circuit d'alimentation 401, un élément séparateur de polarisation PS_{1,1}, PS_{4,1}, PS_{4,8}, PS_{1,8} pour réaliser l'opération inverse de celle effectuée par un élément combineur de polarisation. Autrement dit, un élément séparateur de polarisation PS_{1,1}, PS_{4,1}, PS_{4,8}, PS_{1,8} est adapté à séparer deux signaux de polarisations distinctes destinés à alimenter deux

éléments antennaires distincts d'un même réseau.

[0073] La figure 5 représente un schéma d'une troisième variante de réalisation du dispositif selon l'invention.

[0074] Dans cette troisième variante, l'encombrement global du dispositif est encore amélioré en diminuant le nombre de circuits d'alimentation distribuée du second ensemble 202 de quatre à un seul circuit 502.

[0075] Pour obtenir ce résultat, le dispositif 500 d'alimentation distribuée comporte en outre un moyen 501 pour opérer une translation en fréquence (ou par équivalence une translation de longueur d'onde) des signaux obtenus en sortie des démultiplexeurs fréquentiels D1,...D8. Autrement dit, le groupe de porteuses optiques obtenues sur l'ensemble des huit sorties d'un démultiplexeur D1 est translaté d'un écart fréquentiel égal à kD_f où k est un entier variant de 0 à 7 et D_f est au moins égal à la largeur de la bande de fréquence occupée par l'ensemble des 64 porteuses optiques injectées en entrée du dispositif 500 selon l'invention. De cette façon, les signaux issus des huit démultiplexeurs fréquentiels D1,... D8 sont translattés sur des bandes de fréquences distinctes. L'occupation spectrale globale est alors multipliée par huit et nécessite $64 \times 8 = 512$ porteuses optiques distinctes.

[0076] Les signaux translattés en fréquence sont ensuite répartis sur les huit entrées de huit multiplexeurs fréquentiels M'1,...M'8 de la façon suivante. Les huit signaux issus de la première sortie de chaque démultiplexeur fréquentiel D1,...D8 sont routés vers les huit entrées du premier multiplexeur M'1. Les huit signaux issus de la deuxième sortie de chaque démultiplexeur fréquentiel D1,...D8 sont routés vers les huit entrées du deuxième multiplexeur M'2 et ainsi de suite. Chacun des huit multiplexeurs fréquentiels M'1,...M'8 est connecté, par sa sortie, à une entrée du circuit d'alimentation distribuée 502 de sorte que ce dernier reçoit sur chacune de ses entrées les contributions correspondant à un groupe de porteuses optiques donné pour lesquelles les signaux issus de chaque démultiplexeur D1,...D8 sont différenciés de part la translation en fréquence opérée.

[0077] De cette façon, on évite l'utilisation de huit circuits d'amplification distribuée distincts pour acheminer les signaux issus des huit démultiplexeurs distincts.

[0078] Chaque sortie du circuit d'alimentation distribuée 502 est connectée à l'entrée d'un second démultiplexeur fréquentiel D'1,...D'8 pour démultiplexer les 64 porteuses optiques injectées en entrée du dispositif 502 selon l'invention et alimenter un réseau antenne 503 composé de 64 éléments distincts.

[0079] L'exemple donné à la figure 5 concerne un dispositif permettant l'alimentation d'un réseau à 64 éléments antennaires mais il est possible de concevoir un dispositif équivalent à N^2 entrées et sorties avec N un nombre entier égal à une puissance de deux. Les deux circuits d'alimentation distribuée 201,502 sont identiques et comportent N entrées et sorties, les multiplexeurs et démultiplexeurs employés comportent respectivement N entrées ou N sorties. Le nombre de porteuses optiques nécessaire pour réaliser le dispositif 500 selon la variante de réalisation de la figure 5 est égal à N^3 .

[0080] Dans une variante de réalisation du dispositif selon la figure 5, le nombre de porteuses optiques peut être diminué à $N^3/2$, soit 256 dans le cas où N est égal à 8. Pour cela, le moyen 501 de translation de fréquences optiques est en outre adapté à modifier la polarisation des signaux de sorte que deux groupes de signaux issus de deux démultiplexeurs D1,D2 sont polarisés selon deux polarisations différentes, par exemple deux polarisations orthogonales telles qu'une polarisation verticale et une polarisation horizontale. De cette façon, l'occupation spectrale totale est diminuée d'un facteur deux par rapport au cas précédent, le nombre total de porteuses optiques nécessaire passe à $N^3/2$.

[0081] Les démultiplexeurs fréquentiels D'1,...D'8 connectés en sortie du second circuit d'alimentation distribuée 502 sont en outre adaptés à modifier la polarisation des signaux de sorte à ce qu'ils présentent tous la même polarisation en entrée du réseau antenne. Cependant, dans le cas où les signaux injectés sont des signaux électriques modulés sur porteuse optique,

[0082] Le dispositif 200,400,500 selon l'invention peut être alimenté par des signaux hyperfréquences, des signaux sur porteuse optique mais également par des signaux hyperfréquences, ou micro-ondes, modulés sur porteuse optique.

[0083] Les figures 6a et 6b illustrent l'occupation spectrale des signaux injectés en entrée du dispositif selon l'invention dans le cas de signaux hyperfréquences modulés sur porteuse optique.

[0084] Les diagrammes des figures 6a et 6b représentent le spectre des signaux d'entrée, en décibels, en fonction de la longueur d'onde λ_{opt} exprimée en nanomètres.

[0085] Sur la figure 6a sont représentés trois porteuses optiques OC1,OC2,OC3 de longueurs d'ondes distinctes $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ associées à trois modulations hyperfréquences RF1,RF2,RF3. Une porteuse optique et sa modulation correspondante sont situées dans le lobe fréquentiel d'un même canal C1,C2,C3. Dans l'exemple de la figure 6a, la distance spectrale Δ_{OC-RF} entre une porteuse optique OC1 et sa modulation RF1 est de l'ordre de 19GHz, la largeur de bande de la modulation RF1 est de l'ordre de 1 GHz et la période d'entrelacement des porteuses optiques, c'est-à-dire la distance spectrale IP entre deux porteuses optiques OC1,OC3 entrelacées est de l'ordre de 100 GHz.

[0086] La figure 6b présente une alternative à l'arrangement spectral de la figure 6a permettant d'optimiser l'occupation spectrale globale.

[0087] Cette fois, une porteuse optique OC1 et sa modulation RF1 correspondante sont situées dans les lobes fréquentiels de deux canaux C1,C3 distincts. De cette manière, en conservant les mêmes ordres de grandeurs pour la distance spectrale Δ_{OC-RF} entre une porteuse optique OC1 et sa modulation RF1, on diminue significativement la valeur

de la période d'entrelacement IP qui passe, dans l'exemple numérique de la figure 6b, de 100 GHz à 25 GHz.

[0088] La figure 7 représente un schéma d'un réseau de formation de faisceau d'antennes 700 comprenant un dispositif d'alimentation distribuée 701 selon l'invention.

[0089] A titre illustratif, le réseau de formation de faisceau d'antennes 700 décrit à la figure 7 est adapté pour alimenter 64 éléments antennaires 752,762,772,782 et comporte un dispositif d'alimentation distribuée 701 selon l'invention à 64 entrées et 64 sorties. Le dispositif selon l'invention 701 schématisé à la figure 7 correspond à la deuxième variante de réalisation de l'invention décrite à la figure 4, c'est-à-dire celle qui nécessite cinq circuits d'alimentation distribuée 201,401,404. Il peut cependant être remplacé par n'importe laquelle des variantes présentées dans la description.

[0090] Chaque entrée I1,...I64 est connectée à un modulateur optique 712,722,732,742 par exemple un modulateur Mach-Zehnder, qui reçoit sur une entrée un signal électrique ou hyperfréquences 710,720,730,740 préalablement éventuellement amplifié par le biais d'un amplificateur 711,721,731,741. La seconde entrée de chaque modulateur optique 712,722, 732,742 est connectée à un générateur de porteuses optiques 702 apte à générer au moins une porteuse optique de longueur d'onde λ_1 . Avantagusement, le générateur 702 est apte à générer autant de porteuses optiques que d'entrées du dispositif d'alimentation distribué 701. Par exemple, le générateur 702 peut être apte à mettre en oeuvre une technique de multiplexage de longueur d'onde ou « wavelength division multiplexing » en anglais afin de générer, dans l'exemple de la figure 7, 64 porteuses de longueurs d'ondes $\lambda_1, \dots, \lambda_{64}$ distinctes tel qu'illustré sur le diagramme du bas de la figure 7. Chaque porteuse optique vient ainsi moduler le signal hyperfréquences produit sur une des entrées du dispositif 701.

[0091] Le signal obtenu sur chacune des sorties O1,...O64 du dispositif 701 est ensuite démodulé par le biais d'un détecteur optique 750,760,770,780 par exemple un photo-détecteur, apte à convertir le signal optique en signal électrique qui est ensuite éventuellement amplifié par le biais d'amplificateurs 751,761,771,781 avant d'être acheminé vers les éléments rayonnants 752,762,772,782 du réseau antennaire à alimenter.

[0092] La figure 7bis représente un schéma d'une deuxième variante de réalisation d'un formateur de faisceau d'antennes selon l'invention. Les éléments communs aux systèmes des figures 7 et 7bis sont numérotés avec des références identiques.

[0093] Selon cette deuxième variante, le formateur de faisceau d'antennes 900 est également adapté pour alimenter 64 éléments antennaires 752,762,772,782 d'un réseau antennaire. Au lieu des 64 porteuses optiques nécessaires pour alimenter le système de la figure 7, le formateur selon la figure 7bis ne nécessite la génération que de 32 porteuses optiques par un ou plusieurs générateurs 902. Chaque porteuse optique est dédoublée en deux moitiés pour alimenter les 64 modulateurs optiques 712,722,732,742 lesquels reçoivent, comme pour l'exemple de la figure 7, 64 signaux hyperfréquences 710,720,730,740. Le système selon la figure 7bis comporte en outre un dispositif d'alimentation distribuée 901 selon l'invention composé de deux circuits d'alimentation distribuée 903,904 à simple polarisation connectés chacun, par leurs entrées, à 8 multiplexeurs M1,1,...M1,8...M2,1...M2,8 à quatre entrées et une sortie et par leurs sorties à 8 démultiplexeurs D1,1,...D1,8...D2,1...D2,8 à une entrée et quatre sorties. Chaque circuit d'alimentation distribuée 903,904 est alimenté par l'un des deux jeux de porteuses optiques obtenus par dédoublement des 32 porteuses optiques initiales.

[0094] Le système 900 selon la figure 7bis comporte en outre huit circuits d'alimentation distribuée 905,906 à double polarisation, chacun connecté, par quatre de ses huit entrées, à une sortie d'un démultiplexeur du premier circuit d'alimentation distribuée 903 à simple polarisation et, par ses quatre autres entrées, à une sortie d'un démultiplexeur du second circuit d'alimentation distribuée 904 à simple polarisation.

[0095] Lors des interconnexions entre les sorties des démultiplexeurs connectés à l'un 904 quelconque des deux circuits d'alimentation distribuée 903,904 à simple polarisation, et les entrées correspondantes des deux circuits 905,906 d'alimentation distribuée à double polarisation, la polarisation des signaux optiques est modifiée, par exemple tournée de 90°, de façon à garantir qu'ils traverseront ces circuits 905, 906 de façon indépendante des signaux provenant de l'autre circuit d'alimentation distribuée 903 à simple polarisation, qui eux n'ont pas subi de modification de polarisation. Il est en effet bien connu que des polarisations perpendiculaires, par exemple une première polarisation verticale et une seconde polarisation horizontale, se propagent sans mélange dans un dispositif optique adapté pour transmettre ces deux polarisations.

[0096] L'ensemble 901 composé notamment des 10 circuits d'alimentation distribuée 903,904,905,906 constitue un dispositif d'alimentation distribuée selon une variante de l'invention non décrite mais qui découle directement des nombreux exemples déjà décrits aux figures 2,3,4 et 5.

[0097] On décrit à présent une variante de réalisation du dispositif selon l'invention tel que décrit à la figure 2 qui présente l'avantage de ne plus être limité à un nombre d'entrées et de sorties identique mais peut être élargi au contraire à un dispositif à PxN entrées et QxM sorties où P,N,Q et M sont des entiers strictement positifs.

[0098] Cette variante de l'invention est applicable dans le cas où les circuits d'alimentation distribuée 201,203 utilisés pour réaliser le dispositif selon l'invention ne sont plus limités à un nombre d'entrées et de sorties égaux entre eux. Ce cas de figure trouve application notamment lorsque le circuit d'alimentation distribuée utilisée n'est plus une matrice de Butler mais est un circuit à P entrées et N sorties, avec P différent de N, comme cela est le cas des matrices de Blass,

des lentilles de Rotman ou des formateurs de type « Pillbox ». Ces différents circuits sont couramment utilisés dans le domaine des formateurs de faisceaux d'antenne et sont par conséquent connus de l'Homme du métier et ne sont pas décrits ici. Des exemples d'implémentation de tels circuits en technologie RF sont notamment décrits dans les références [1],[2],[3] et [4]. Des exemples d'implémentation en technologie opto-électronique sont également donnés dans les

références [5] et [6].

[0099] La figure 8 illustre, sur un exemple, un élargissement du dispositif selon l'invention tel que décrit à la figure 2 dans le cas où les circuits d'alimentation distribuée utilisés sont des dispositifs du type décrit ci-dessus.

[0100] Dans l'exemple de la figure 8, le dispositif d'alimentation distribuée 800 selon l'invention comporte $8 \times 6 = 48$ entrées et $12 \times 16 = 192$ sorties. Il est donc adapté pour la génération de 48 faisceaux d'antenne orthogonaux (portant les signaux injectés sur chacune des 48 entrées), en combinant le rayonnement de 192 éléments de l'antenne-réseau.

[0101] Le dispositif 800 de la figure 8 est composé des mêmes éléments que le dispositif 200 de la figure 2 mais en nombres différents.

[0102] Plus précisément, le dispositif 800 selon l'invention comporte un premier circuit d'alimentation distribuée 801, à $P=8$ entrées et $N=16$ sorties. Le circuit 801 est, par exemple, un circuit du type matrice de Blass, lentille de Rotman ou formateur « Pillbox ».

[0103] Chaque entrée du premier circuit 801 est reliée à la sortie d'un multiplexeur fréquentiel $M1, \dots, M8$ et chaque sortie du premier circuit 801 est reliée à l'entrée d'un démultiplexeur fréquentiel $D1, \dots, D16$. Au total 8 multiplexeurs et 16 démultiplexeurs sont ainsi nécessaires.

[0104] Un multiplexeur $M1, \dots, M8$ comporte 6 entrées distinctes pour recevoir 6 signaux transmis sur huit porteuses distinctes et une sortie, connectée à une entrée du premier circuit 801. Sa fonction consiste, comme pour le dispositif de la figure 2 à multiplexer une pluralité de signaux (en l'occurrence 6) sur porteuses distinctes en un signal unique multi-porteuses.

[0105] Un démultiplexeur fréquentiel $D1, \dots, D16$ comporte une entrée, connectée à une sortie du premier circuit d'alimentation distribuée 801, et six sorties pour délivrer six signaux sur porteuses distinctes, à partir du signal d'entrée multi-porteuses.

[0106] Chaque sortie $O_{1,1}, O_{1,6}, O_{16,1}, O_{16,6}$ d'un démultiplexeur fréquentiel est connectée à une entrée distincte $I_{1,1}, I_{1,6}, I_{16,1}, I_{16,6}$ d'un ensemble 802 de seize circuits d'alimentation distribuée 803 à six entrées et douze sorties chacun.

[0107] Le dispositif selon l'invention présenté à la figure 8 comporte ainsi 17 circuits d'alimentation distribuée 801, 803. Il est adapté pour alimenter un réseau antennaire 804 comportant au plus 192 éléments rayonnants.

[0108] L'agencement des porteuses optiques sur les différentes entrées des multiplexeurs $M1, \dots, M8$ se fait de la même façon déjà décrite pour les figures 2 et 3.

[0109] Les variantes de réalisation de l'invention décrites aux figures 4 et 5 sont également applicables aux cas des circuits du type matrice de Blass, lentille de Rotman ou formateur « Pillbox » et se déduisent aisément de l'exemple de la figure 8 de la même façon que les exemples des figures 4 et 5 se déduisent de l'exemple de la figure 2.

[0110] Le dispositif 800 selon l'invention peut donc être généralisé à tout dispositif comportant $P \times Q$ entrées et $N \times M$ sorties, avec P, N, Q et M des nombres entiers strictement positifs. Pour la variante de l'invention présentée à la figure 8, le dispositif selon l'invention comporte un premier circuit d'alimentation distribuée à P entrées et N sorties, un ensemble de N seconds circuits d'alimentation distribuée à Q entrées et M sorties, P multiplexeurs fréquentiels à Q entrées et une sortie et N démultiplexeurs fréquentiels à une entrée et Q sorties.

[0111] Selon la deuxième variante de réalisation de l'invention présentée à la figure 4 et élargie aux circuits autres que des matrices de Butler, le nombre de seconds circuits d'alimentation distribuée dudit ensemble est divisé par deux.

[0112] Enfin la troisième variante de réalisation de l'invention présentée à la figure 5 et élargie aux circuits autres que des matrices de Butler ne nécessite que deux circuits d'alimentation distribuée, le premier à P entrées et N sorties, le second à Q entrées et M sorties.

Références

[0113]

[1] : Robert J. Mailloux "Phased Array antenna handbook" (Artech House, 1993).

[2] : Nelson Fonseca : rapport de thèse, Université de Toulouse, Oct.2011

[3] : Rao S.K. et al [Boeing]: "Reconfigurable Multiple Beam Satellite Phased Array Antenna," US Patent 5,936,588, Aug.1999

[4] : Cheng et al (Univ. Montreal, Canada): «Millimeter-Wave Substrate Integrated Waveguide Multibeam Antenna Based on the Parabolic Reflector Principle » IEEE AP Transactions, Sept.2008

[5] : Y. Chen, and R. T. Chen, "A Fully Packaged True Time Delay Module for a K-band Phased Array Antenna System Demonstration", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 14, No. 8, August 2002, pp; 1175-1177.

[6]: Z. Zalevsky, S. Zach and M Tur, "A Novel Photonic Rotman-Lens Design for Radar Phased Array", IEEE

5 **Revendications**

1. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) pour la formation de faisceau d'antenne **caractérisé en ce qu'il** comprend un premier circuit d'alimentation distribuée (201,801) comprenant P entrées et N sorties, P et N étant deux nombres entiers strictement positifs, adapté pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de ses entrées, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, au moins un multiplexeur fréquentiel (M1,...M8) connecté à au moins une entrée dudit premier circuit (201,801), un nombre, égal au nombre N de sorties dudit premier circuit (201,801), de démultiplexeurs fréquentiels (D1,...D8,...D16) connectés chacun, par leur entrée, à une sortie dudit premier circuit (201,801) et un second moyen d'alimentation distribuée (202,802) comprenant une pluralité d'entrées, chacune connectée à une sortie d'un desdits démultiplexeurs fréquentiels (D1,...D8, ...,D16), et une pluralité de sorties, ledit second moyen d'alimentation distribuée (202,802) comprenant au moins un second circuit d'alimentation distribuée (203,401,404,502,803) comprenant Q entrées et M sorties, Q et M étant deux nombres entiers strictement positifs, adapté pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de ses entrées, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, les nombres entiers P,N,Q et M étant égaux ou distincts.
2. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon la revendication 1 dans lequel un multiplexeur fréquentiel (M1,...M8) est apte à multiplexer une pluralité de signaux sur porteuses optiques distinctes ($\{\lambda_1, \dots, \lambda_8\}, \{\lambda_1, \dots, \lambda_{57}\}$).
3. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon la revendication 2 dans lequel un démultiplexeur fréquentiel (D1,...D8, ...,D16) est configuré pour démultiplexer une pluralité de porteuses optiques ($\lambda_1, \dots, \lambda_8, \dots, \lambda_{57}, \dots, \lambda_{64}$) en au moins un groupe de porteuses ($\{\lambda_1, \dots, \lambda_{57}\}, \{\lambda_1, \dots, \lambda_8\}$) comprenant une seule des porteuses optiques produites sur chaque entrée dudit premier circuit d'alimentation (201,801).
4. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel le second moyen d'alimentation distribuée (202,802) comprend un nombre d'entrées égal à Q multiplié par N et un nombre de sorties égal à M multiplié par N, chacune de ses entrées étant connectée à une sortie distincte d'un démultiplexeur fréquentiel (D1,...D8,, ...,D16).
5. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel ledit second moyen d'alimentation distribuée (202,802) comprend un nombre égal à N de seconds circuits d'alimentation distribuée (203,803) à Q entrées et M sorties, adaptés pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de leurs entrées, un signal sur chacune de leurs sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, chacun desdits seconds circuits d'alimentation (203,803) étant connecté, par ses Q entrées, à Q sorties d'un même démultiplexeur fréquentiel (D1,...D8, ...,D16).
6. Dispositif d'alimentation distribuée (400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel ledit second moyen d'alimentation distribuée (202) comprend un nombre égal à N/2 de seconds circuits d'alimentation distribuée (401,404) à Q entrées et M sorties adaptés pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de leurs entrées, un signal sur chacune de leurs sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, ledit second moyen d'alimentation (202) comprenant en outre au moins un élément combineur de polarisation (PC_{1,1}, PC_{4,1}, PC_{4,8}, PC_{1,8}) connecté, par sa sortie, à une entrée d'un desdits seconds circuits d'alimentation distribuée (401,404) et étant apte à combiner un premier signal délivré par une sortie d'un premier démultiplexeur fréquentiel (D1,D3,D5,D7) à une première polarisation et un second signal délivré par une sortie d'un second démultiplexeur fréquentiel (D2,D4,D6,D8) à une seconde polarisation, différente de la première polarisation, ledit second moyen d'alimentation (202) comprenant en outre au moins un élément séparateur de polarisation (PS_{1,1}, PS_{4,1}, PS_{4,8}, PS_{1,8}) connecté, par son entrée, à une sortie d'un desdits seconds circuits d'alimentation distribuée (401,404) et étant apte à séparer un premier signal à une première polarisation d'un second signal à une seconde polarisation, différente de la première polarisation.
7. Dispositif d'alimentation distribuée (400) selon la revendication 6 dans lequel la seconde polarisation est orthogonale à la première polarisation.
8. Dispositif d'alimentation distribuée (400) selon la revendication 7 dans lequel la première polarisation est horizontale

et la seconde polarisation est verticale.

- 5
9. Dispositif d'alimentation distribuée (500) selon l'une quelconque des revendications 2 à 4 dans lequel ledit second moyen d'alimentation distribuée (202) comprend un seul circuit d'alimentation distribuée (502) à Q entrées et M sorties adapté pour produire, lorsqu'un signal est injecté sur une seule de ses entrées, un signal sur chacune de ses sorties avec un déphasage sensiblement constant entre deux sorties adjacentes, un moyen (501) pour translater en fréquence les signaux optiques délivrés par chaque démultiplexeur fréquentiel (D1,...D8) de sorte qu'ils occupent des bandes de fréquences différentes, au moins un second multiplexeur fréquentiel (M'1,...M'8) pour multiplexer ensemble les signaux, délivré par chacun desdits démultiplexeurs fréquentsiels (D1,...D8), émis sur les mêmes porteuses optiques ($\lambda_1, \dots, \lambda_8$), et au moins un second démultiplexeur fréquentiel (D'1,...D'8), connecté à une sortie dudit seul circuit d'alimentation (502), pour démultiplexer les signaux translatsés en fréquence.
- 10
10. Dispositif d'alimentation distribuée (500) selon la revendication 9 dans lequel lesdites bandes de fréquences sont adjacentes.
- 15
11. Dispositif d'alimentation distribuée (500) selon l'une des revendications 9 ou 10 dans lequel ledit second moyen d'alimentation distribuée (202) comprend en outre un moyen pour modifier la polarisation des signaux délivrés par un premier démultiplexeur fréquentiel (D1,... D8) de sorte que les signaux délivrés par deux premiers démultiplexeurs distincts (D1,D2) sont polarisés différemment et un moyen pour modifier la polarisation des signaux délivrés en sortie dudit circuit d'alimentation distribuée (500) de sorte qu'ils aient tous la même polarisation.
- 20
12. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la fonction de transfert théorique desdits premier et second circuits d'alimentation distribuée (201,203,401,404,502) est une matrice orthogonale ou unitaire.
- 25
13. Dispositif d'alimentation distribuée (901) selon l'une des revendications 1 à 4 comportant en outre un second circuit d'alimentation distribuée (904) apparié au premier circuit d'alimentation distribuée (903) et configuré en polarisation différente de celle dudit premier circuit d'alimentation distribuée (903).
- 30
14. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel lesdits premier et second circuits d'alimentation distribuée (201,203,401,404,502,801,803) sont du type matrices de Blass ou lentilles de Rotman ou dispositifs « Pillbox ».
- 35
15. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13 dans lequel le nombre d'entrées P et de sorties N du premier circuit d'alimentation distribuée (201,801) sont égaux entre eux et au nombre d'entrées Q et de sorties M d'un second circuit d'alimentation distribuée (203,401,404,502,803) du second moyen d'alimentation distribuée (202,802).
- 40
16. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon la revendication 15 dans lequel lesdits premier et second circuits d'alimentation distribuée (201,203,401,404,502,801,803) sont du type matrice de Butler.
- 45
17. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel lesdits premier et second circuits d'alimentation distribuée (201,203,401,404,502, 801,803) sont des circuits intégrés optiques.
- 50
18. Dispositif d'alimentation distribuée (200,400,500,800) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel ledit premier circuit d'alimentation distribuée (201,801) est disposé dans un plan sensiblement orthogonal au plan dudit second circuit d'alimentation distribuée (203,401,404,502,803).
- 55
19. Réseau de formation de faisceau d'antenne (700) comprenant un dispositif d'alimentation distribuée (701) selon l'une quelconque des revendications 1 à 18 pour alimenter au moins un élément antennaire (752,762,772,782) d'un réseau d'antenne.
20. Réseau de formation de faisceau d'antenne (700) selon la revendication 19 comprenant des premier moyens (702,712,722,732,742) pour moduler au moins un signal électrique à une fréquence micro-ondes sur une porteuse optique et l'injecter sur au moins une entrée dudit dispositif d'alimentation distribuée (700) et des second moyens (750,760,770,780) pour recevoir au moins un signal produit sur au moins une des sorties dudit dispositif d'alimentation distribuée (700) et le convertir en un signal électrique destiné à alimenter au moins un élément antennaire

(752,762,772,782) d'un réseau d'antenne.

21. Réseau de formation de faisceau d'antenne (700) selon la revendication 20 dans lequel les porteuses optiques ($\lambda_1, \dots, \lambda_8, \dots, \lambda_{57}, \dots, \lambda_{64}$) destinées à être injectées en entrée dudit dispositif d'alimentation distribuée (700) sont regroupées, chaque groupe de porteuses étant injecté sur les entrées d'un multiplexeur distinct (M_1, \dots, M_8), un groupe comprenant une pluralité de porteuses adjacentes ($\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8\}$) ou une pluralité de porteuses équiréparties ($\{\lambda_1, \lambda_9, \lambda_{17}, \lambda_{25}, \lambda_{33}, \lambda_{41}, \lambda_{49}, \lambda_{57}\}$) dans la bande totale occupée par l'ensemble des porteuses.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

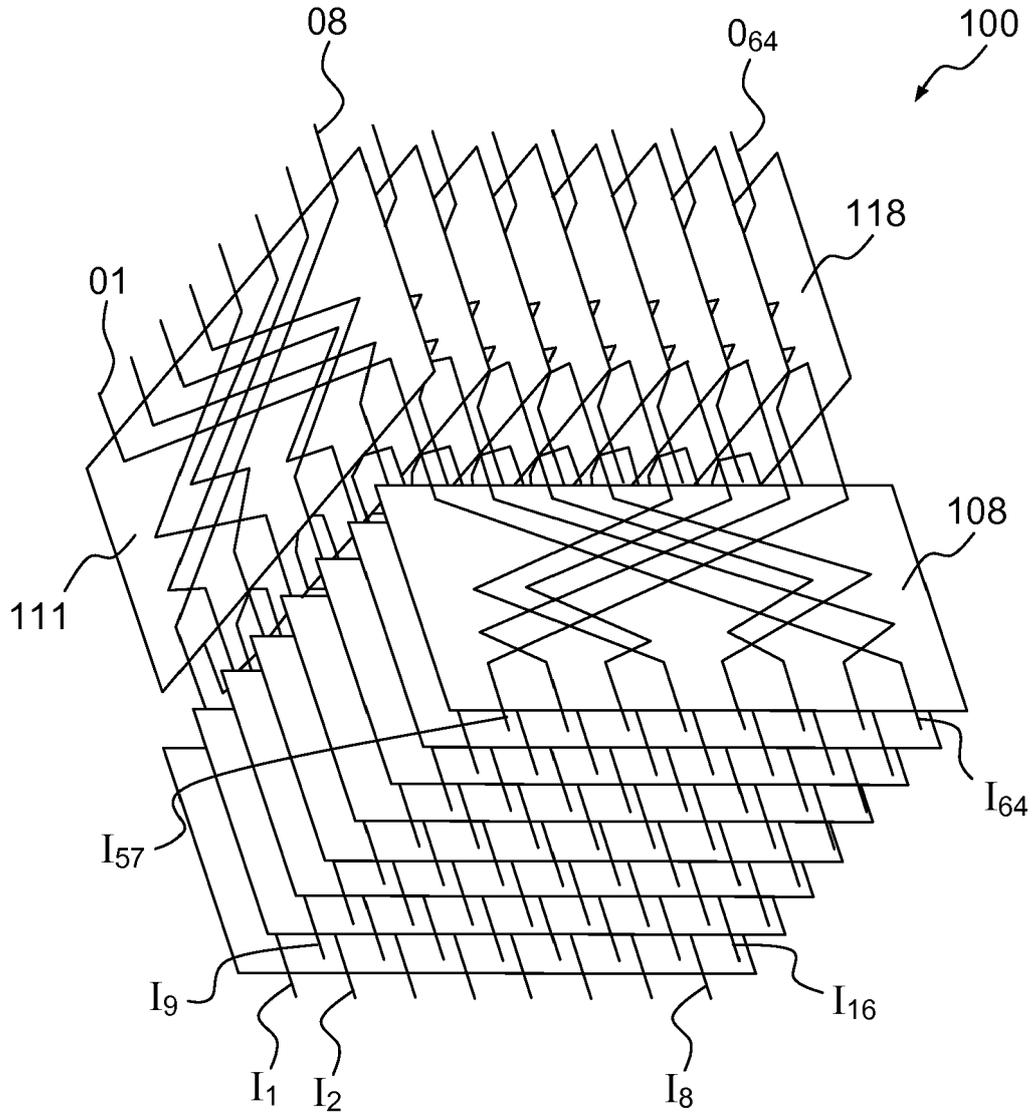
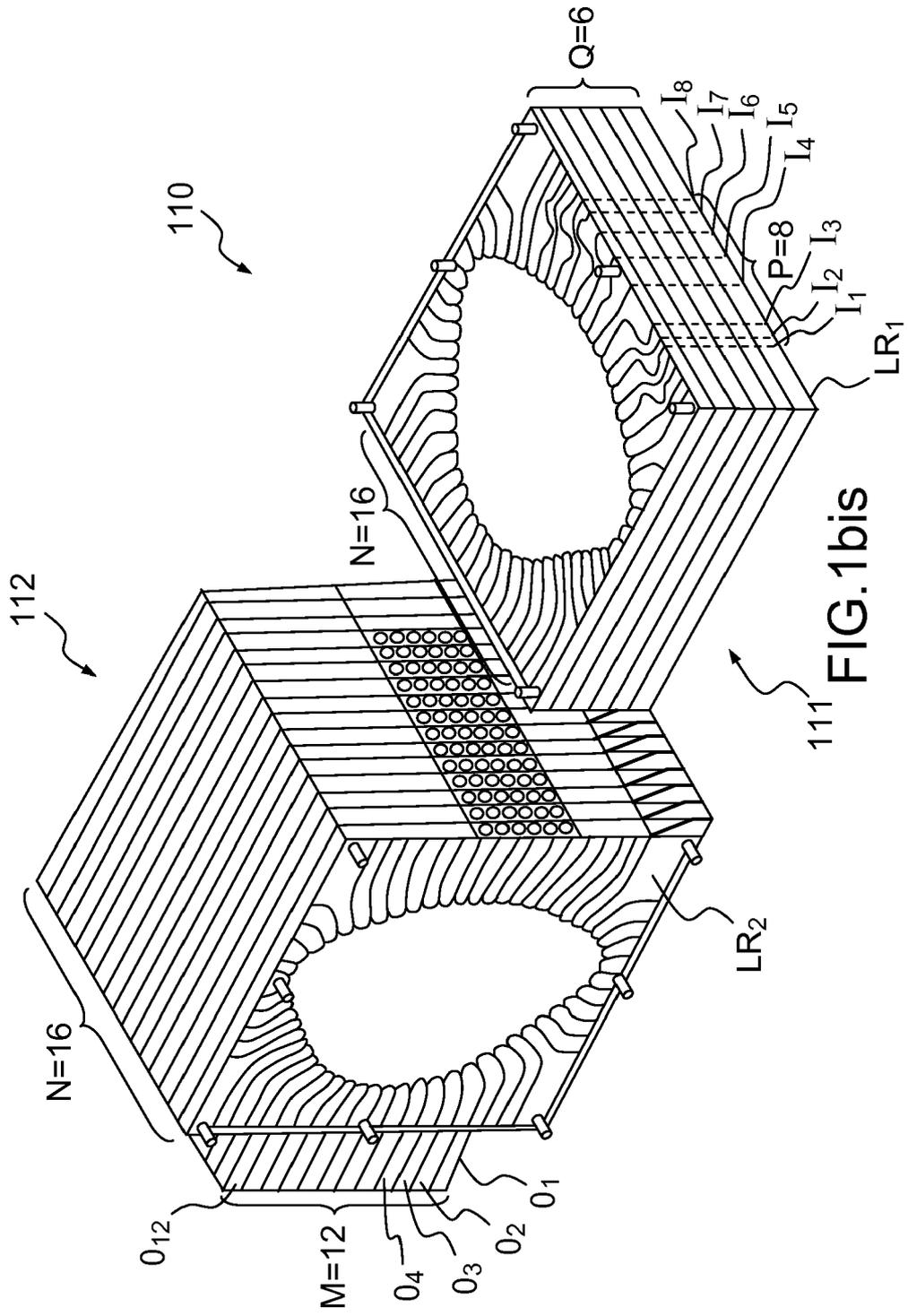


FIG.1



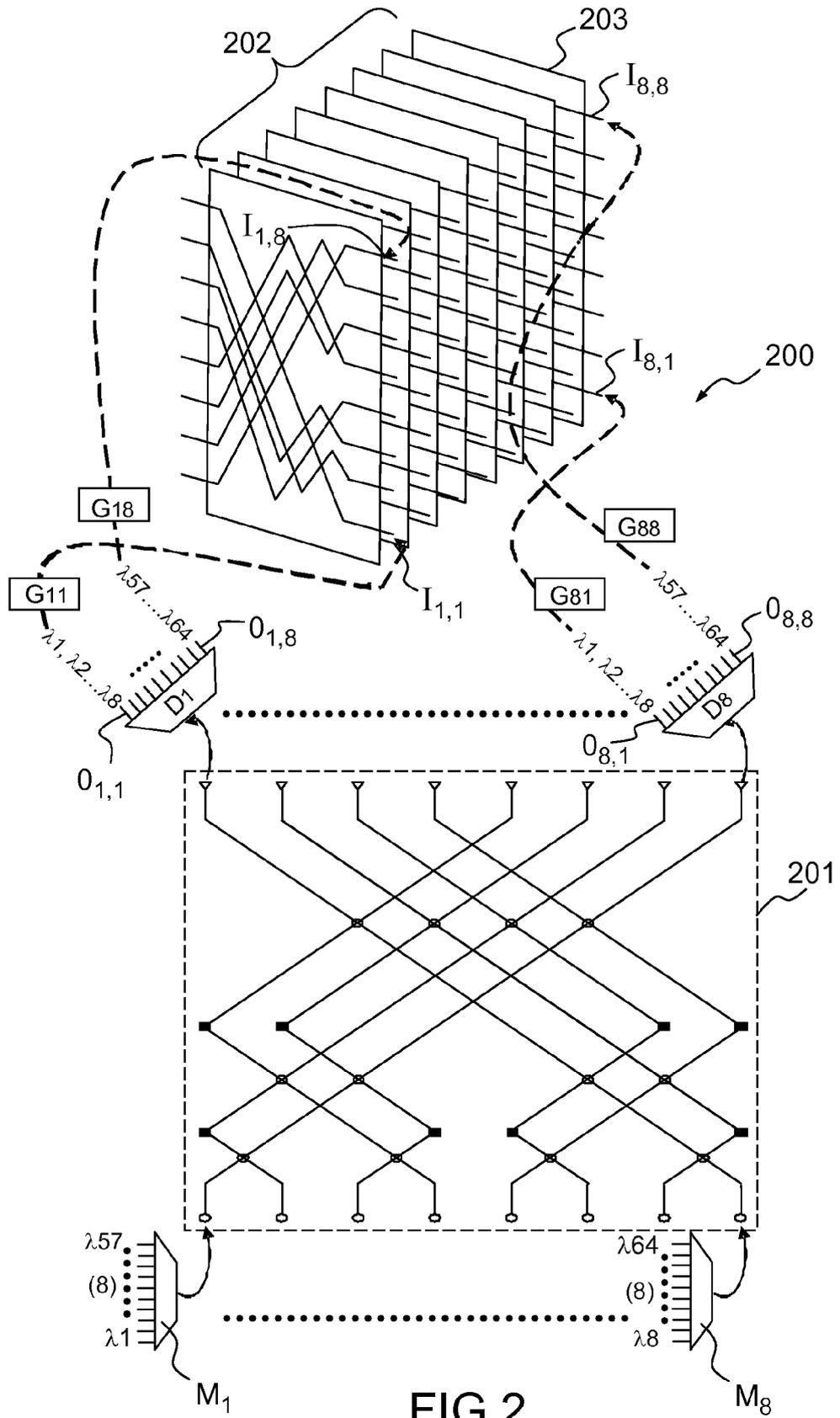


FIG. 2

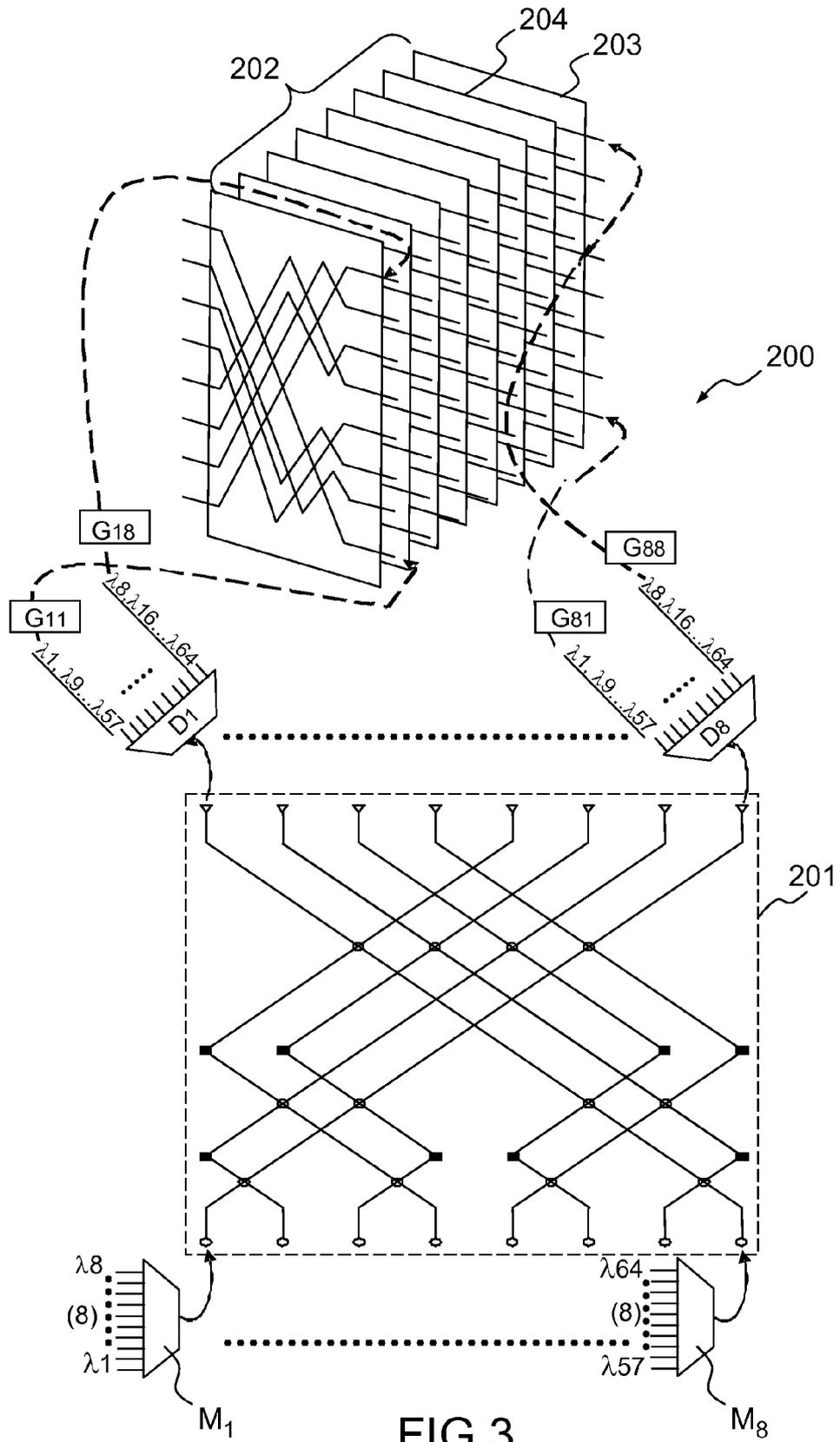


FIG.3

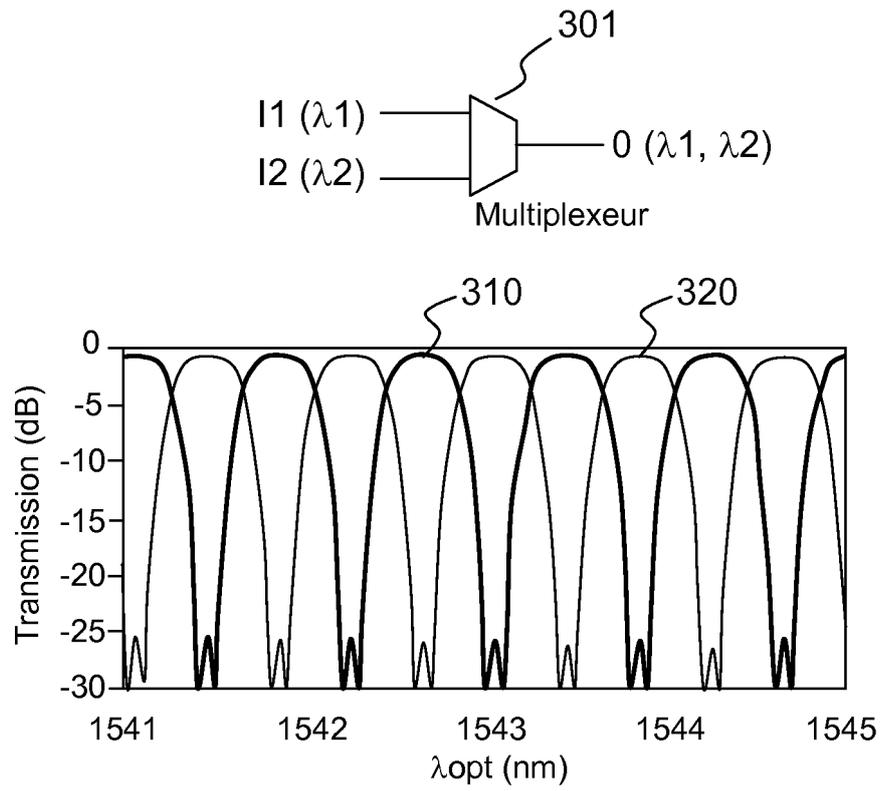
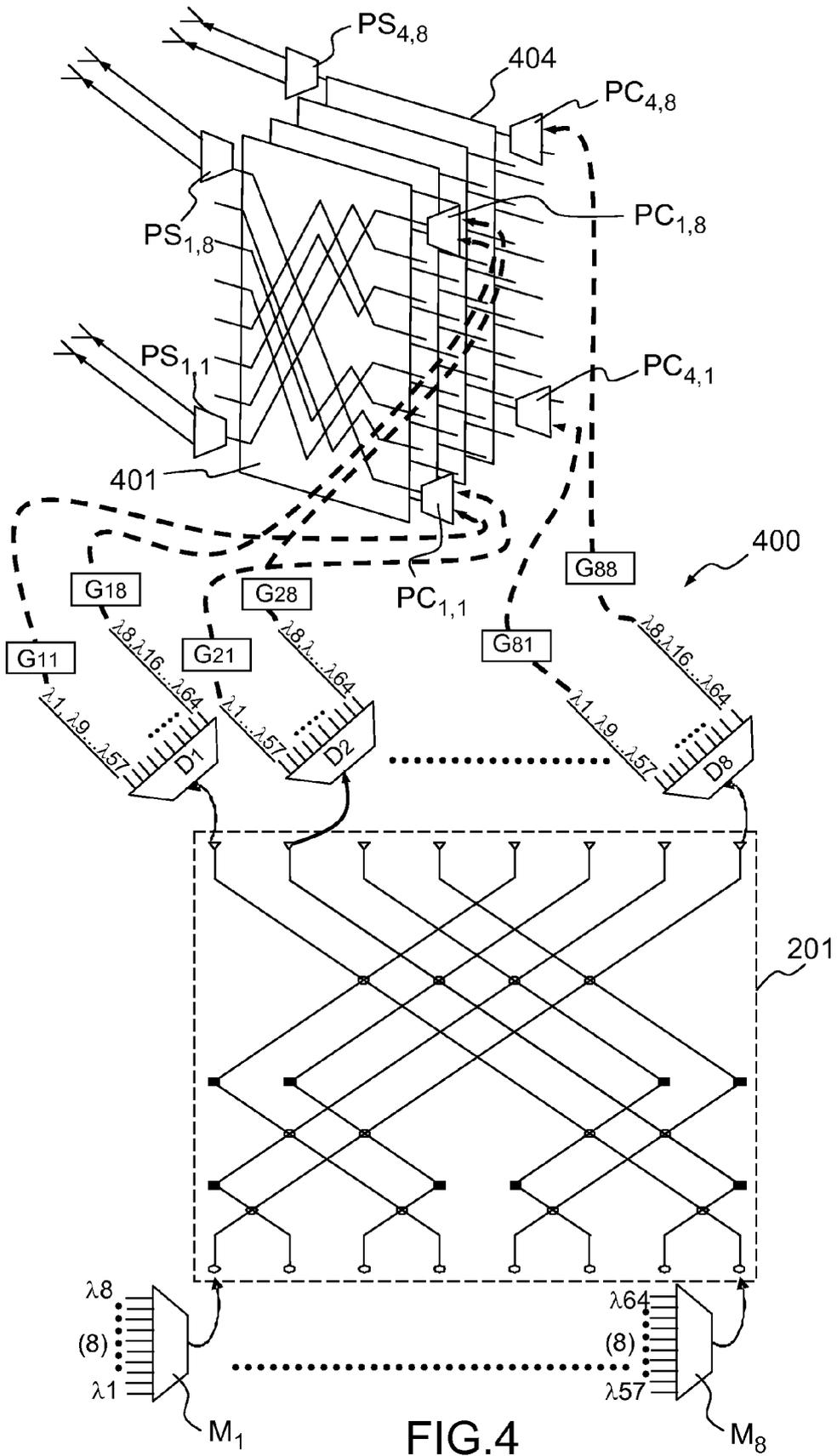


FIG.3bis



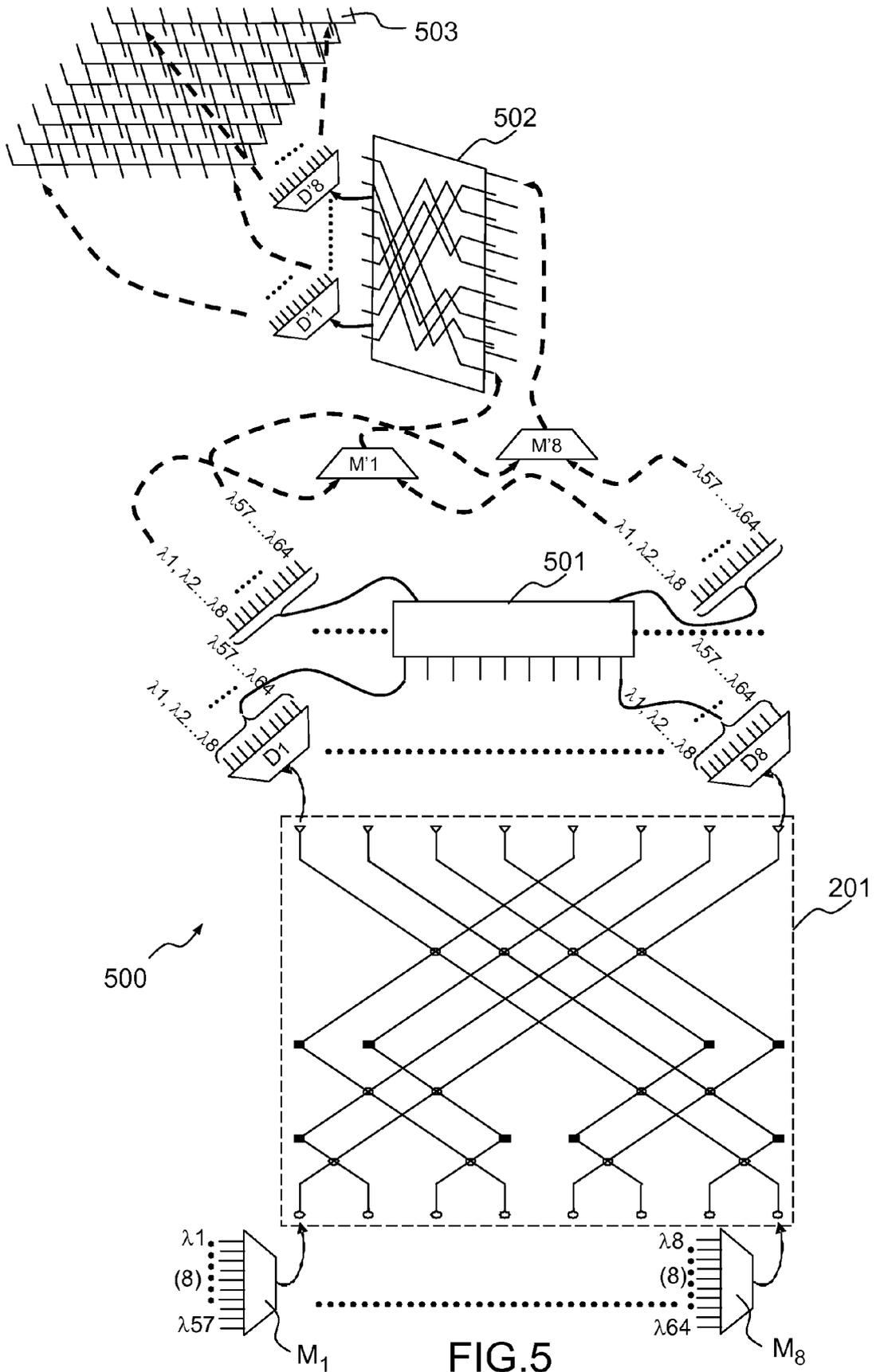
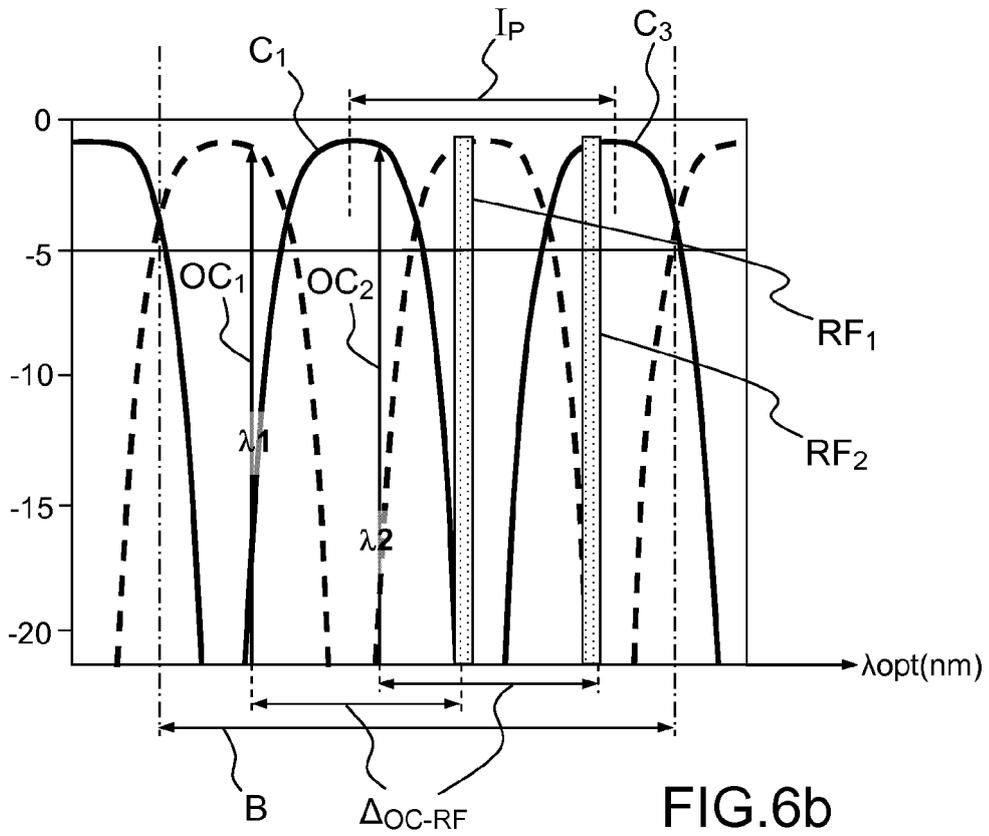
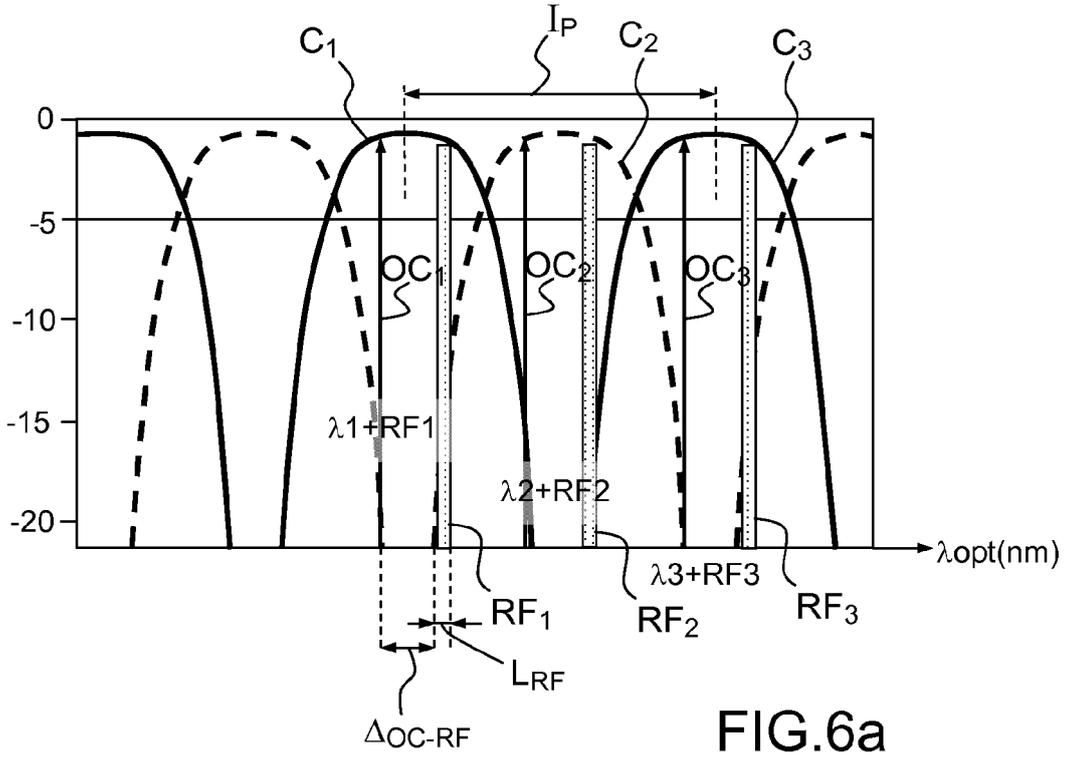


FIG. 5



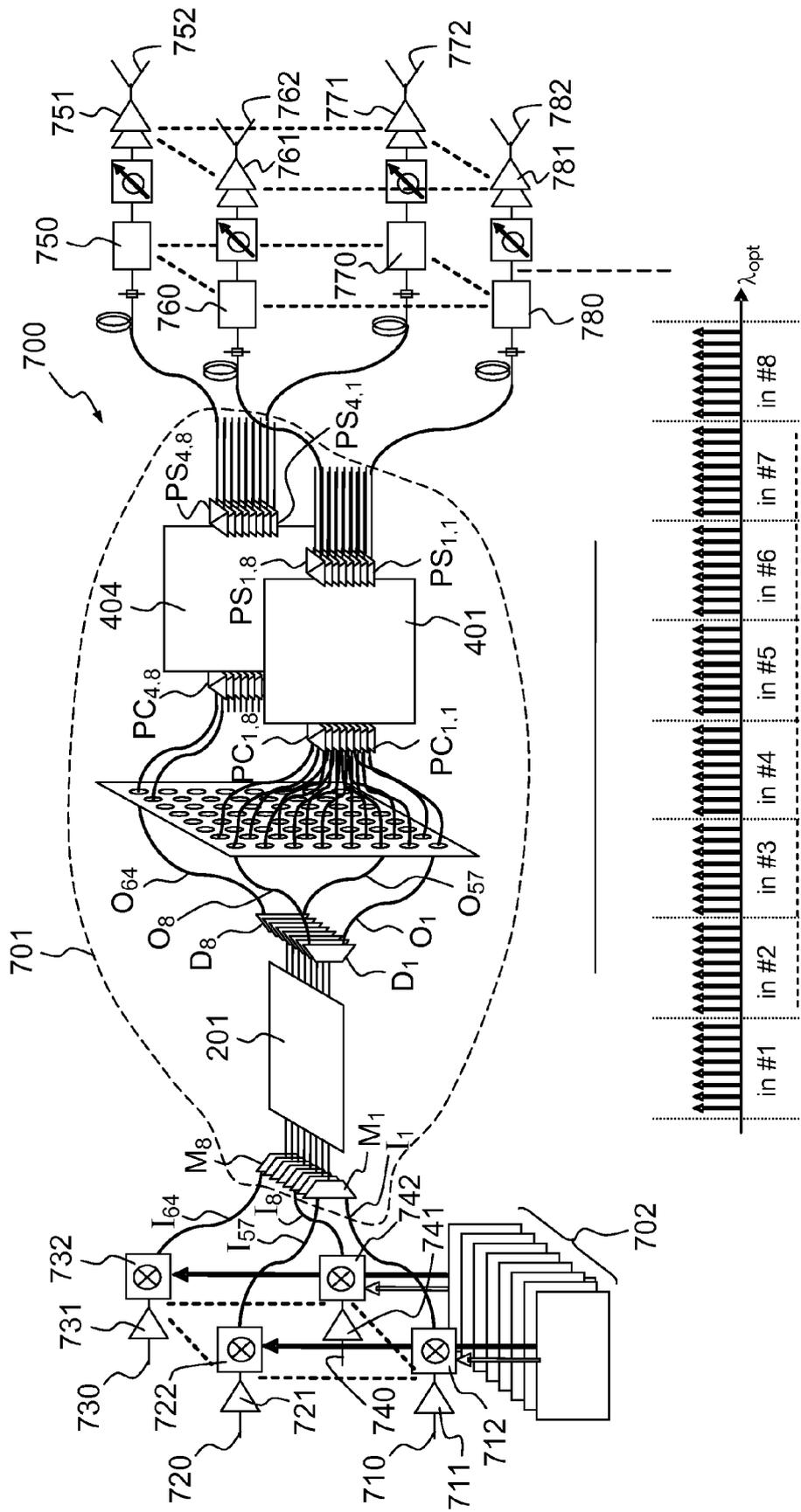


FIG.7

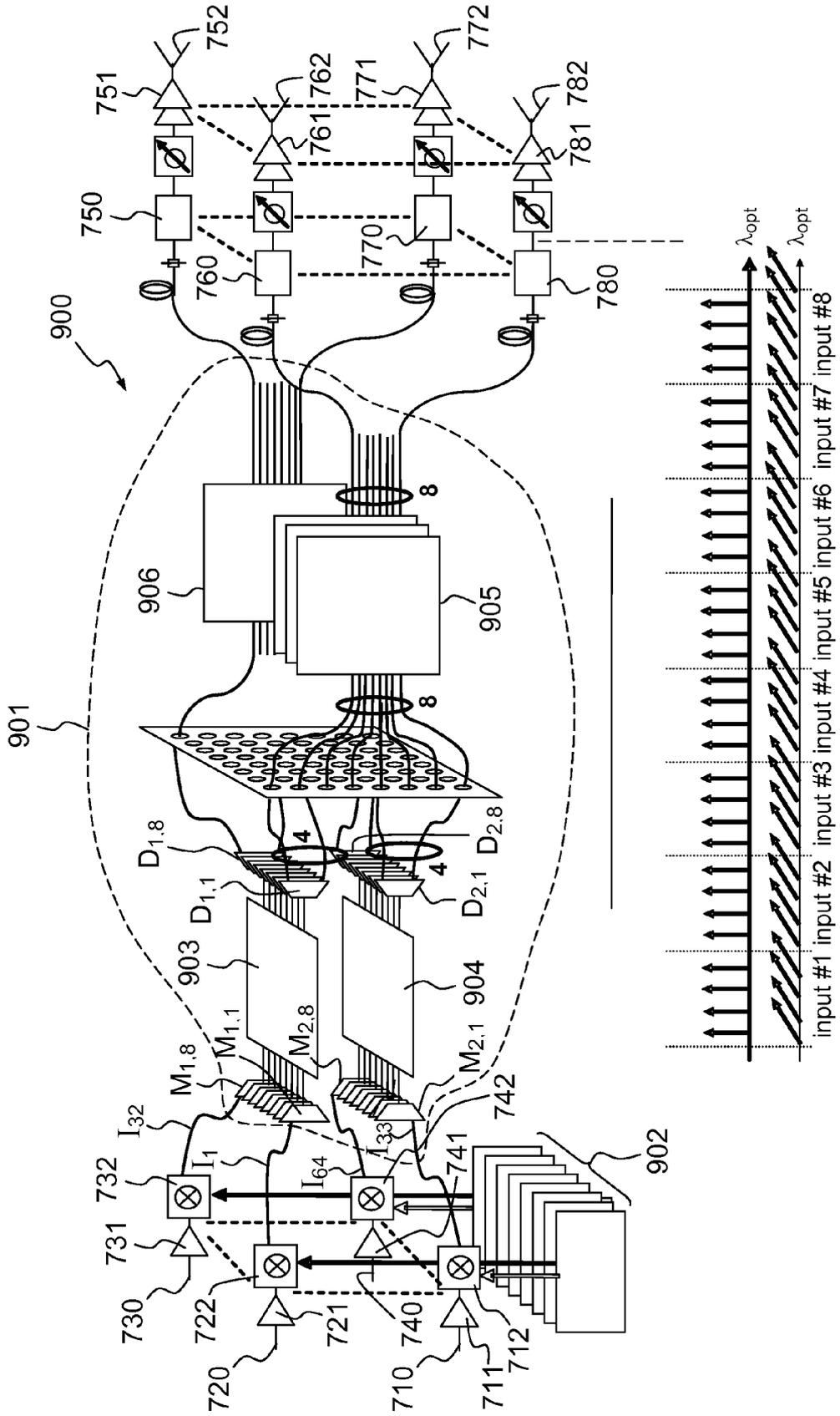


FIG. 7bis

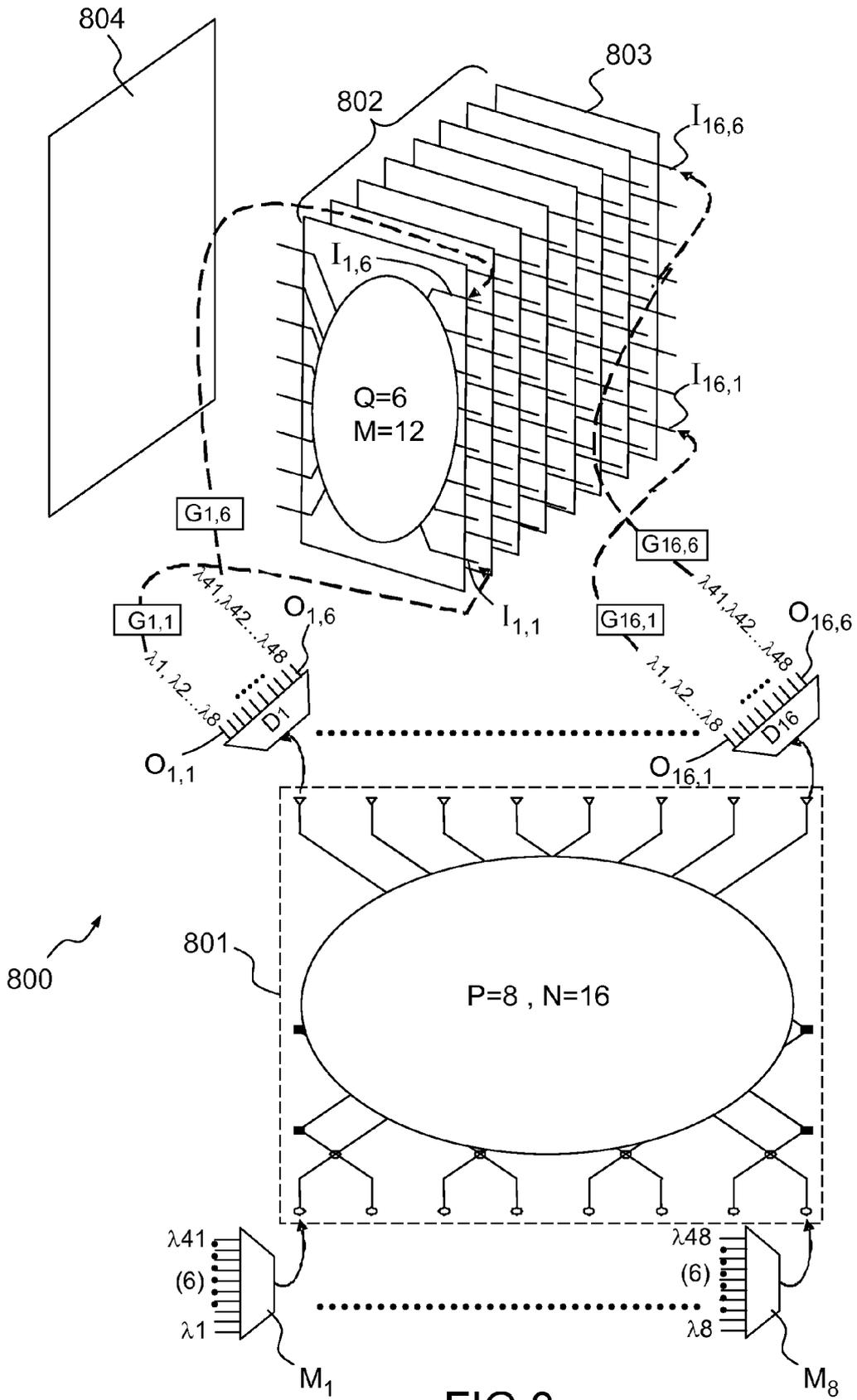


FIG.8



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 14 16 5477

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | | |
|--|---|--|--|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | Revendication concernée | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC) |
| Y A | US 2005/088339 A1 (YAP DANIEL [US]) 28 avril 2005 (2005-04-28) * alinéa [0002] * * alinéa [0008] * * colonne 34 * * colonne 39 * * colonne 70 - colonne 74 * * figures 4-7 * | 1-8, 12-21 9-11 | INV. H01Q3/26 H01Q3/40 |
| Y A | WO 98/50981 A1 (ERICSSON TELEFON AB L M [SE]) 12 novembre 1998 (1998-11-12) * page 10, ligne 15 * * page 16, ligne 10 - ligne 20 * * figure 5 * | 1-8, 12-21 9-11 | |
| Y | WO 2010/151484 A1 (ALCATEL LUCENT USA INC [US]; ESSIAMBRE RENE-JEAN [US]; RYF ROLAND [US]) 29 décembre 2010 (2010-12-29) * page 18, ligne 12 - ligne 22 * * page 19, ligne 5 - ligne 18 * | 6-8 | |
| Y | JOHN T GALLO ET AL: "Experimental Demonstration of Optical Guided-Wave Butler Matrices", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 45, no. 8, 1 août 1997 (1997-08-01), XP011036900, ISSN: 0018-9480 * abrégé * | 16 | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications | | | |
| Lieu de la recherche Munich | | Date d'achèvement de la recherche 25 juillet 2014 | Examineur Köppe, Maro |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire | | T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant | |

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 14 16 5477

5

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

25-07-2014

10

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| US 2005088339 A1 | 28-04-2005 | AUCUN | |
| ----- | | | |
| WO 9850981 A1 | 12-11-1998 | AU 7461798 A | 27-11-1998 |
| | | CA 2288635 A1 | 12-11-1998 |
| | | CN 1261989 A | 02-08-2000 |
| | | DE 69831324 D1 | 29-09-2005 |
| | | DE 69831324 T2 | 09-03-2006 |
| | | EP 0981839 A1 | 01-03-2000 |
| | | JP 4135814 B2 | 20-08-2008 |
| | | JP 2001523425 A | 20-11-2001 |
| | | SE 9701722 A | 08-11-1998 |
| | | US 6218987 B1 | 17-04-2001 |
| | | WO 9850981 A1 | 12-11-1998 |
| ----- | | | |
| WO 2010151484 A1 | 29-12-2010 | CN 102461021 A | 16-05-2012 |
| | | EP 2446560 A1 | 02-05-2012 |
| | | JP 2012533915 A | 27-12-2012 |
| | | JP 2013243682 A | 05-12-2013 |
| | | KR 20120040202 A | 26-04-2012 |
| | | WO 2010151484 A1 | 29-12-2010 |
| ----- | | | |

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5936588 A [0113]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **JESSE BUTLER ; RALPH LOWE.** Beam-Forming Matrix Simplifies Design of Electronically Scanned Antennas. *Electronic Design*, 12 Avril 1961, vol. 9, 170-173 [0004]
- **ROBERT J. MAILLOUX.** Phased Array antenna handbook. Artech House, 1993 [0113]
- **NELSON FONSECA.** rapport de thèse, Octobre 2011 [0113]
- **CHENG et al.** Millimeter-Wave Substrate Integrated Waveguide Multibeam Antenna Based on the Parabolic Reflector Principle. *IEEE AP Transactions*, Septembre 2008 [0113]
- **Y. CHEN ; R. T. CHEN.** A Fully Packaged True Time Delay Module for a K-band Phased Array Antenna System Demonstration. *IEEE Photonics Technology Letters*, Août 2002, vol. 14 (8), 1175-1177 [0113]
- **Z. ZALEVSKY ; S. ZACH ; M TUR.** A Novel Photonic Rotman-Lens Design for Radar Phased Array. *IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems 2009*, 09 Novembre 2009, 1-4 [0113]